

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

2010

Bc. Petr Štefánek

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**Měření vypínacích charakteristik digitální  
ochrany vedení řady 7SA6**

**Switching-off charakteristik check of  
microprocessor line protection 7SA6**

**2010**

**Bc. Petr Štefánek**

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

**Datum :**

**Podpis :**

## **Abstrakt**

V této diplomové práci budeme seznámeni s digitální ochranou Siemens 7SA6, s její funkcí, ovládáním, nastavením a použitím. Tato práce je rozdělena na úvod a pět částí, ve kterých se dozvíme o ochranách, principu jejich nastavení, popisu digitální ochrany Siemens 7SA6, způsobu kontroly vypínacích charakteristik a o jejich zhodnocení.

První kapitola je zaměřena na teoretický rozbor ochran a jištění, ve kterém se dozvíme o druzích poruch, základním rozdělení ochran, o požadavcích, které jsou kladeny na ochrany a přístrojové transformátory. Hlavní zaměření této kapitoly je na nadproudové ochrany a jejich rozdělení dle charakteristik, pak na distanční ochrany a jejich základní charakteristiky.

Druhá kapitola nás seznamuje s principem nastavení distančních a také nadproudových ochran, protože jejich nastavení je velmi důležité pro jejich správnou funkci.

Třetí kapitola popisuje digitální distanční ochranu Siemens 7SA6, na které byla provedena kontrola jejich vypínacích charakteristik.

Ve čtvrté kapitole, která je zaměřena na kontrolu vypínacích charakteristik nadproudového stupně digitální ochrany Siemens 7SA6, se nachází postup kontroly všech časově závislých charakteristik, schéma zapojení, tabulky naměřených hodnot, výpočty a následné grafy z naměřených a vypočtených hodnot.

Poslední pátá kapitola obsahuje závěrečné zhodnocení výsledků kontroly vypínacích charakteristik nadproudového stupně digitální ochrany Siemens 7SA6.

## **Klíčová slova**

Digitální ochrana, nadproudová ochrana, proudové přetížení, distanční ochrana.

# Abstract

In this work we are familiar with digital protection 7SA6 Siemens, with its functions, control, setup and use. This thesis is divided into an introduction and five sections in which we learn about protections, the principle of setting, characterization 7SA6 Siemens digital protection, control method of tripping characteristics and their evaluation.

The first chapter deals with the theoretical analysis of the protections and protection, in which we learn about the types of failure, the basic allocation of protection requirements, which are placed on the protection and instrument transformers. The main focus of this chapter is on the overcurrent protection, and their distribution according to the characteristics, the distance and the protection of their basic characteristics.

The second chapter introduces the principle of setting distance and overcurrent protections because their setup is very important for their proper function.

The third chapter describes Digital Distance Protection 7SA6 Siemens, which was carried out their breaking characteristic.

In the fourth chapter, which is focused on controlling Tripping characteristics of overcurrent protection level digital Siemens 7SA6, is a procedure for checking all time-dependent characteristics, diagrams, tables, measurements, calculations and subsequent graphs of measured and calculated values.

The last fifth chapter contains the final evaluation of inspection results Tripping characteristics of overcurrent protection level digital Siemens 7SA6.

## Keywords

Digital protection, overcurrent protection, overcurrent, distance protection.

## Použité symboly a zkratky

D	(-)	Nastavená hodnota časového faktoru
I	(A)	Poruchový proud
$I_p$	(A)	Nastavená hodnota proudu na ochraně
$I_r$	(A)	Rozběhový proud
OZ		Opětovné zapnutí
PTN		Přístrojový transformátor napětí
PTP		Přístrojový transformátor proudu
$T_p$	(-)	Nastavená hodnota časového faktoru
U	(V)	Napětí na zdroji
$k_c$	(-)	Koeficient citlivosti
$i_{mg}$	(A)	Magnetizační proud
$t_{zmer.}$	(s)	Změřený vypínací čas ochrany
$t_{vyp.}$	(s)	Vypočtený vypínací čas ochrany
$\delta$	(%)	Relativní chyba ochrany

# Osnova

Úvod .....	1
<b>1. Teoretický rozbor ochran a jištění se zaměřením na distanční ochrany a nadproudové ochrany.....</b>	<b>2</b>
1.1 Druhy poruch.....	2
1.2 Ochrana.....	3
1.3 Chráněný objekt.....	4
1.4 Druhy ochran.....	5
1.5 Činnosti ochrany rozvodných zařízení a elektrických strojů .....	7
1.6 Požadavky kladené na ochrany.....	7
1.6.1 Spolehlivost funkce ochrany .....	7
1.6.2 Snadná údržba .....	8
1.6.3 Odolnost ochrany při rušení.....	8
1.6.4 Životnost ochrany.....	8
1.6.5 Selektivita ochrany .....	8
1.6.6 Rychlost ochrany .....	8
1.6.7 Citlivost ochrany .....	9
1.6.8 Přesnost ochrany .....	9
1.7 Kontrola činnosti ochran .....	9
1.8 Požadavky na přístrojové transformátory .....	10
1.9 Distanční ochrany.....	10
1.9.1 Základní charakteristiky distančních ochran.....	11
1.9.2 Vybavení ochrany jednotlivými členy .....	14
1.10 Nadproudové ochrany.....	15
1.10.1 Nezávislé nadproudové ochrany .....	15
1.10.2 Závislé nadproudové ochrany .....	15
1.10.3 Rozdělení nadproudových ochran dle charakteristik .....	16
<b>2. Princip nastavení nadproudových a distančních ochran.....</b>	<b>18</b>
2.1 Nastavení nadproudových ochran .....	18
2.2 Nastavení distančních ochran.....	19
2.2.1 Nastavení měřících členů distanční ochrany .....	20
2.2.2 Nastavení popudových členů distanční ochrany .....	21
<b>3. Popis digitální ochrany Siemens 7SA6 .....</b>	<b>22</b>
3.1 Vlastnosti.....	22
3.2 Popis ochrany.....	23
3.3 Funkce .....	24
3.3.1 Distanční ochrana (ANSI 21, 21N).....	24
3.3.2 Nadproudová ochrana (ANSI 50, 50N, 51, 51N).....	25
3.3.3 Napětíová ochrana (ANSI 59,27) .....	25
3.3.4 Ochrana před zemním zkratem .....	26
3.3.5 Detekce kývání výkonu (ANSI 68, 68T) .....	26
3.3.6 Funkce automatického opětného zapnutí (ANSI 79) .....	27
3.3.7 Kontrola synchronizace.....	28
3.3.8 Kmitočtová ochrana .....	28
3.3.9 Odstranění rušivých signálů.....	28
3.3.10 Monitoring měření napětí.....	28
3.3.11 Dálková ochranná funkce pro distanční ochrany .....	28
3.3.12 Okamžitý vysokorychlostní přepínač nadproudové ochrany (ANSI 50HS) .....	29
3.3.13 Další funkce .....	29
3.4 Komunikace .....	29

3.5	Program DIGSI 4 .....	30
4.	Kontrola vypínacích charakteristik nadproudového stupně ochrany 7SA6.....	31
4.1	Schéma zapojení .....	31
4.2	Seznam přístrojů .....	31
4.3	Postup kontroly vypínacích charakteristik .....	31
4.4	Tabulka naměřených a vypočtených hodnot časově závislé normálně inverzní IEC charakteristiky, příklad výpočtu a graf vypínací charakteristiky .....	32
4.5	Tabulka naměřených a vypočtených hodnot časově závislé velmi inverzní IEC charakteristiky, příklad výpočtu a graf vypínací charakteristiky .....	33
4.6	Tabulka naměřených a vypočtených hodnot časově závislé extrémně inverzní IEC charakteristiky, příklad výpočtu a graf vypínací charakteristiky .....	34
4.7	Tabulka naměřených a vypočtených hodnot časově závislé dlouhodobě inverzní IEC charakteristiky, příklad výpočtu a graf vypínací charakteristiky .....	35
4.8	Tabulka naměřených a vypočtených hodnot časově závislé inverzní ANSI charakteristiky, příklad výpočtu a graf vypínací charakteristiky .....	36
4.9	Tabulka naměřených a vypočtených hodnot časově závislé krátce inverzní ANSI charakteristiky, příklad výpočtu a graf vypínací charakteristiky .....	37
4.10	Tabulka naměřených a vypočtených hodnot časově závislé dlouze inverzní ANSI charakteristiky, příklad výpočtu a graf vypínací charakteristiky .....	38
4.11	Tabulka naměřených a vypočtených hodnot časově závislé mírně inverzní ANSI charakteristiky, příklad výpočtu a graf vypínací charakteristiky .....	39
4.12	Tabulka naměřených a vypočtených hodnot časově závislé velmi inverzní ANSI charakteristiky, příklad výpočtu a graf vypínací charakteristiky .....	40
4.13	Tabulka naměřených a vypočtených hodnot časově závislé extrémně inverzní ANSI charakteristiky, příklad výpočtu a graf vypínací charakteristiky .....	41
4.14	Tabulka naměřených a vypočtených hodnot časově závislé jednoznačně inverzní ANSI charakteristiky, příklad výpočtu a graf vypínací charakteristiky .....	42
5.	Zhodnocení naměřených výsledků .....	43
	Použitá literatura .....	44



# Úvod

V dnešní době je elektrická energie nepostradatelná. Výpadek dodávky elektrické energie je nepříjemný a musí se zajistit její nepřetržitá dodávka. V elektrizační soustavě může dojít ke vzniku poruchových stavů, které jsou nežádoucí a mají za následek zhoršení spolehlivosti dodávky elektrické energie ke spotřebitelům. Těmto poruchovým stavům se snažíme předcházet, nebo je eliminovat. Nastane-li porucha, musí být co v nejkratším čase odpojeno chráněné zařízení, na kterém vznikla. K těmto účelům používáme elektrické ochrany.

Elektrické ochrany v současnosti procházejí modernizací a staré elektromechanické ochrany se nahrazují digitálními mikroprocesorovými ochranami, které jsou spolehlivější a přesnější. Tyto ochrany jsou ovládány pomocí počítače, což umožňuje jejich obsluhu jednoduché nastavování těchto ochran. Díky těmto novým ochranám se šetří náklady jak už za nákladné externí přístroje, tak i za školení obsluhy.

Základní teorie ochran, rozdělení, jejich nastavení jsou obsaženy v prvních dvou kapitolách. V třetí kapitole je popis digitální ochrany Siemens 7SA6, na které se prováděla kontrola jejich vypínacích charakteristik. Schéma zapojení, popis postupu, výsledky a zhodnocení kontroly vypínacích charakteristik této ochrany jsou obsaženy v následujících kapitolách.

# 1. Teoretický rozbor ochran a jištění se zaměřením na distanční ochrany a nadproudové ochrany

Při provozu elektrizační soustavy mohou nastat situace, při kterých se vyskytnou stavy narušující bezpečnost a spolehlivost tohoto provozu. Při těchto stavech může dojít k poškození izolace vodičů, ale i ostatních elektrických zařízení. V nejhorším případě i k ohrožení bezpečnosti osob, které obsluhují tato zařízení.

Těmto stavům říkáme poruchy a snažíme se jim předcházet.

## 1.1 Druhy poruch

**Mohou nastat následující poruchy:**

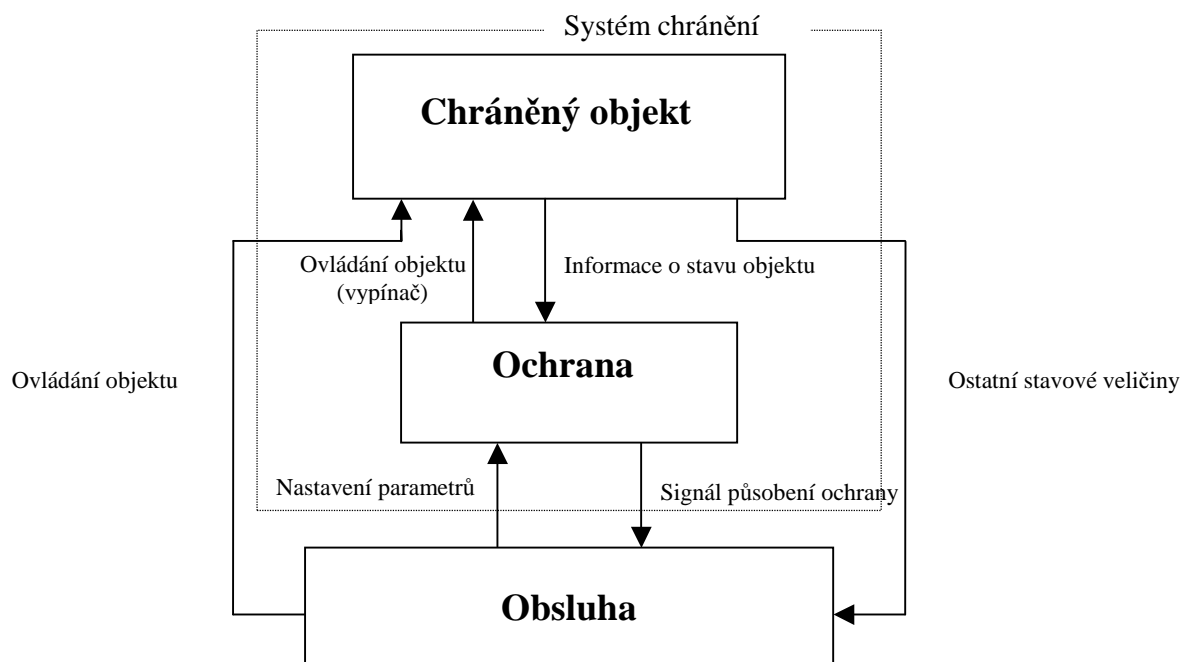
- **Zkrat** - je to stav, při kterém dojde ke vzájemnému spojení dvou nebo tří fázových vodičů, případně spojení jedné fáze se zemí v síti s přímo uzemněným uzlem. Velikost zkratového proudu dosahuje několikanásobku jmenovitého proudu. Při zkratu dochází jak k tepelnému tak i silovému namáhání vedení, spotřebičů i ostatních rozvodných zařízení, kdy dochází k poškození vodičů či izolantů. Vznikne pokles napětí, který je nepřímo úměrný vzdálenosti od místa zkratu, a tím se zmenší synchronizační moment, který má za následek ztrátu stability. Zkrat můžou způsobit atmosférické vlivy, únava izolace, mechanické poškození, nesprávná manipulace, náhodné jevy a další.
- **Přepětí** - je to napětí, které je větší než dovolená mez. Toto napětí je způsobeno atmosférickými vlivy, například úderem blesku do vedení nebo do jiných částí elektrického zařízení. Je také způsobováno přechodovými jevy nebo poruchou regulace napětí. Toto přepětí způsobuje poškozování a stárnutí izolací.
- **Podpětí** - je to napětí, které je menší než dovolená mez a způsobuje proudové přetěžování, při zachování konstantního výkonu. Způsobuje ho proudové přetížení, nedostatečná kompenzace, porucha regulace napětí.
- **Přetížení** - je způsobeno proudem, který je větší než hodnota jmenovitého proudu. Tímto proudem jsou zatěžovány vodiče, elektrická zařízení a spotřebiče. Tento proud má za následek tepelné namáhání vedení, rozvodných zařízení a spotřebičů. Negativním důsledkem je stárnutí izolací. Pokud je například vedení či elektrické zařízení krátkodobě přetíženo, nemusí být přetížení nebezpečné, ale v případě, že je zatíženo dlouhodobě, je přetížení nebezpečné téměř vždy.
- **Zemní spojení** - je to galvanické spojení jedné fáze se zemí v síti s izolovaným či kompenzovaným uzlem. Zemní spojení může být způsobeno stejnými vlivy jako

u zkratu a je velmi nebezpečné, protože hrozí velká pravděpodobnost následného zkratu. Pokud dojde k takzvanému přerušovanému zemnímu spojení, kdy oblouk uhasíná v nule proudu a poté se opět zapaluje při rychlém nárůstu zotaveného napětí, vzniká nebezpečné přepětí.

- **Nesouměrné zatížení** - Bývá způsobeno buď přerušením některé fáze, nebo nesouměrným zatížením. Nesouměrné zatížení je nebezpečné především pro elektrické točivé stroje, kdy může dojít k tomu, že zpětná složka proudu bude způsobovat přehřívání rotorového vinutí.
- **Zvýšení kmitočtu** - bývá způsobeno poruchou regulace výkonů a negativně působí na chráněné zařízení a také na připojené stroje mechanicky.
- **Snížení kmitočtu** - ke snížení kmitočtu dochází při přetížení zdrojů v elektrizační soustavě. Následkem je zvětšení magnetizačních proudů a zvětšení ztrát a oteplení.
- **Zpětný tok výkonu** - Tento zpětný tok může poškodit připojené mechanické stroje a proto je pro ně tato porucha nebezpečná. Je to přes energie z generátoru do turbíny nebo z motoru na síť. Bývá způsoben chybnou regulací výkonu nebo špatnou energetickou bilancí sítě.
- **Ztráta buzení** - je zmenšení budícího proudu pod mez statické stability a má za následek jak snížení napětí, které ohrožuje stabilitu sítě, ale také asynchronní chod stroje.

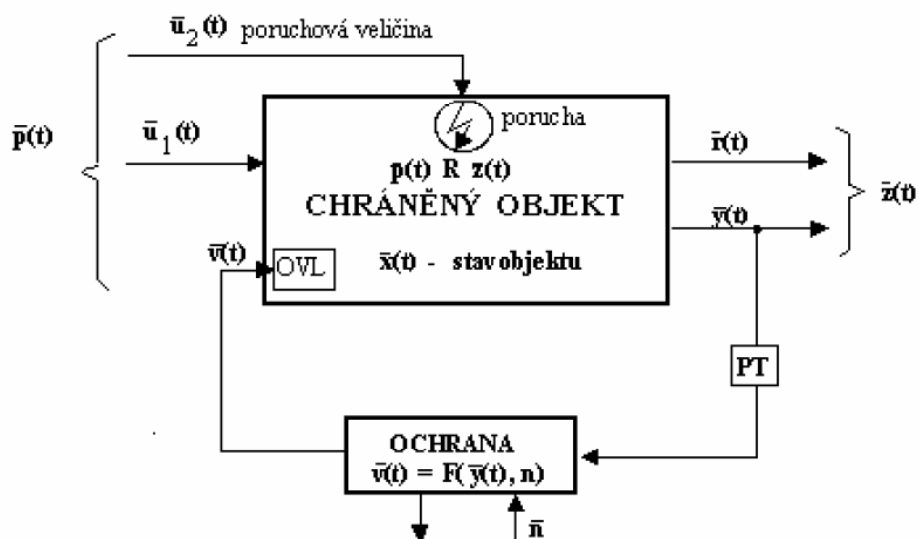
## 1.2 Ochrana

Ochrana je zařízení, jejímž úkolem je kontrola chodu, zjišťování provozní bezpečnosti a spolehlivosti soustavy (generátoru, transformátoru, vedení atd.). Informace, které ochrana zpracovává a pomocí nichž určuje, zda se chráněný objekt nachází v normálním stavu, nebo jestli nastala porucha, získává pomocí přístrojových transformátorů napětí (PTN) a přístrojových transformátorů proudů (PTP), či jiných čidel. Pokud dojde k poruše na chráněném zařízení, musí ochrana zamezit havárii na tomto zařízení. Tomu zamezí vypnutím chráněného zařízení. Ochrana musí informovat obsluhu o tomto stavu, která může nastavovat parametry této ochrany (např. citlivost).



Obr.1.1.Schéma vazby ochrany a chráněného objektu

### 1.3 Chráněný objekt



Obr.1.2. Chráněný objekt

Obrázek 1.2. znázorňuje vztahy mezi chráněným objektem, ochranou a jejím okolím. Pomocí smyčky zpětné vazby, která je uzavřená, je ochrana připojena k chráněnému objektu, kde je chráněný objekt zařízení, pomocí něhož přenášíme energii. Úkolem ochrany je sledování chráněného objektu a hlídání meze normálního provozu. Pokud by nastalo překročení těchto mezí, došlo by k poškození chráněného objektu.

*Stavová veličina* je taková fyzikální veličina, pomocí které můžeme určit okamžitou funkci chráněného objektu (např. napětí, proud, teplota, frekvence, výkon apod.).

## 1.4 Druhy ochran

- **Podle chráněného objektu**

- ochrana generátoru
- ochrana motoru
- ochrana transformátoru
- ochrana přípojníc
- ochrana vedení
- ochrana kabelu
- ochrana vypínače
- ochrana troleje
- ochrana lokomotivní

- **Podle druhu zkratové poruchy**

- zkratová
- při přetížení
- podpět'ová
- nadpět'ová
- podfrekvenční
- nadfrekvenční
- při zemním spojení
- při zpětném toku výkonu
- při ztrátě buzení
- při nesouměrnosti

- **Podle doby působení**

- **mžikové** – tyto ochrany reagují na poruchu okamžitě a rychlost těchto ochran je dána dobou zpracování informace

- **časově závislé** – doba působení ochrany je závislá na nastavené vypínací charakteristice
- **časově nezávislé** – doba působení ochrany je konstantní a předem nastavená

- **Podle principu působení a konstrukce**

- elektromechanické ochrany – Tyto ochrany, kterým se také říká klasické, jsou sestaveny z elektrických relé a podle použitých systémů jsou buď elektromagnetické, elektrodynamické, magnetoelektrické, indukční, tepelné nebo také jiné.
- tranzistorové ochrany – U těchto ochran jsou vnitřní obvody sestaveny z polovodičových prvků (tranzistorů, diod, integrovaných obvodů). Tranzistorové ochrany jsou řešeny zcela jinak než elektromechanické ochrany, a to jako souborné skříně, které chrání celý chráněný objekt. Jejich výhodou je menší obestavěný prostor, vyšší spolehlivost, větší parametry, realizace složitých algoritmů, kompatibilita s ostatní automatizační technikou, snadná údržba. Nevýhodou je zpravidla cena, která je hlavně u jednotlivých ochran vysoká a taky větší citlivost k rušení.
- číslicové digitální ochrany – Číslicové digitální ochrany jsou sestaveny z číslicových obvodů. Měření veličiny jsou vyhodnocovány číselně porovnáváním diskrétních (nespojité) hodnot. Tyto ochrany mají spoustu výhod, do kterých patří rychlost, objektivnost, selektivnost, přesnost, odolnost vůči rušení a kolísání vnitřních parametrů například teploty.

- **Podle funkčního principu**

- proudová
- napěťová
- distanční
- rozdílová
- srovnávací
- wattová
- jalová
- frekvenční
- při nesměrnosti

## **1.5 Činnosti ochrany rozvodných zařízení a elektrických strojů**

**Ochrany musí plnit tyto činnosti:**

- Ochrana musí spolehlivě a rychle rozpoznat poruchu, ale také překročení meze normálního provozu chráněného objektu.
- Musí také ve stanoveném, či nastaveném čase vypnout poruchu, a to proto, aby nešlo k poškození chráněného zařízení anebo, aby se omezil rozsah poškození tohoto zařízení na minimum. Důležité je také zajištění ochrany osob před nebezpečnými účinky elektrické energie.
- V důsledku tepelných účinku zkratových proudů má ochrana také snížit riziko požáru, které je vysoké.
- Má zajistit, aby se porucha nerozšířila a neohrozila chod elektrizační soustavy a napájení spotřebitelů.

## **1.6 Požadavky kladené na ochrany**

Při provozu energetické soustavy jsou kladeny určité požadavky na ochrany. Jakost i vhodnost použití ochrany pro daný objekt hodnotíme podle toho, jak nám ochrana splňuje tyto požadavky. Všechny požadavky jsou velmi důležité a nejde určit, který z nich je nejdůležitější. Záleží na způsobu provozu, na druhu chráněného objektu i na okolní soustavě.

### **1.6.1 Spolehlivost funkce ochrany**

Spolehlivostí se rozumí plnit danou funkci po určitou dobu a při zachování provozních parametrů ochrany. Pokud se neobjeví porucha, ochrana nesmí samovolně zapůsobit a při poruše nesmí selhat. Spolehlivost ochrany ovlivňuje její jednoduchost, správná a pečlivá montáž, pravidelná kontrola funkce atd.

Spolehlivé chránění rozvodných zařízení a elektrických strojů je nutné zabezpečit především:

- analýzou bezporuchových a poruchových provozních stavů
- vhodným výběrem vypínacích charakteristik a správným nastavením ochran
- zálohováním ochran
- selektivním působením ochran
- konstrukčním provedením ochran a jakostí výroby, montáže a zkoušek
- použitím správných parametrů chráněného zařízení, které si změříme nebo vypočteme
- předpoklady pro zkoušení a údržbu systému ochran

### **1.6.2 Snadná údržba**

Snadná údržba ochran je nutná, protože se na těchto ochranách provádějí pravidelné revize, při kterých se ochrany zkoušejí. Tyto pravidelné revize zvyšují spolehlivost ochran a snižují pravděpodobnost jejich poruch. Pokud se zjistí, že je nějaká ochrana vadná, musí se vyměnit nebo opravit.

### **1.6.3 Odolnost ochrany při rušení**

Je to velmi důležitý požadavek, protože se při provozu vyskytuje mnoho negativních vlivů, které by mohly ochranu poškodit. Mezi tyto negativní vlivy patří například prašné prostředí, vibrace, magnetická a elektrická pole, která vznikají při zkratech, agresivní látky, apod. Tyto negativní vlivy ovlivňují především číslicové a tranzistorové ochrany.

### **1.6.4 Životnost ochrany**

V průběhu doby života ochrany se spolehlivost zmenšuje vlivem opotřebení. Platí to zejména u elektromechanických ochran, které mají větší počet pohyblivých součástí, které časem podléhají opotřebení. Každá ochrana má svoji životnost.

### **1.6.5 Selektivita ochrany**

Pokud dojde k poruše mimo chráněný objekt, ochrana by měla být schopna nereagovat na tuto poruchu. Ochrana má vypínat nejmenší postiženou část energetické soustavy a naopak v provozu má zůstat co největší část nepostižené soustavy. Tímto se rozumí selektivita ochrany a díky ní snižujeme riziko ztráty stability soustavy a její následné zhroucení.

### **1.6.6 Rychlost ochrany**

Rychlost ochrany je dalším z požadavků kladeným na ochrany a je dán časem působení ochrany na poruchu. Tento čas by měl být co nejkratší a má zajistit co nerychlejší vypnutí poruch například zkratů a to proto, aby byla zachována dynamická stabilita elektrizační soustavy, eliminovaly se poruchy, zvětšila se efektivnost automatického opětného zapínání a omezil chod spotřebičů při sníženém napětí. Nároky na dimenzování chráněného objektu snižujeme vyšší rychlostí ochran. Rychlost ochrany musí být ve vztahu s rychlostí ovládacího zařízení a je nutné požadovat rychlou funkci vypínačů a ostatních ovládacích prvků.



### 1.6.7 Citlivost ochrany

Je to schopnost ochrany reagovat pouze na poruchy, které se nacházejí v chráněném úseku a na které je ochrana navržena. Ochrana je nastavena na určitou stavovou veličinu, podle které určuje poruchu. Funkce ochrany se nastavuje na méně nebezpečnou hodnotu veličiny, na kterou má ochrana reagovat. Je to nižší hodnota, která stále neodpovídá poruše. Ochrana se takto nastavuje z důvodu určité nutné bezpečnosti chránění.

Ochrany, které působí na nárůst veličiny, kterou kontrolují v průběhu poruchového stavu, je citlivost dána poměrem výpočtové veličiny k veličině, která je nastavená na relé. V druhém případě je to naopak u ochran, které působí na pokles kontrolované veličiny. Zde je citlivost dána poměrem nastavené veličiny na relé k výpočtové veličině.

### 1.6.8 Přesnost ochrany

Je to relativní chyba ochrany, která je vyjádřena v procentech. Pokud se zvětšuje přesnost ochrany je větší i její jakost.

$$\delta = \left| \frac{x - x_b}{x_a} \right| \cdot 100 \quad (1)$$

kde  $\delta$  je přesnost (relativní chyba) ochrany (%).

$x$  - nastavení citlivosti ochrany,

$x_b$  - skutečná citlivost ochrany,

$x_a$  - rozsah nařiditelnosti ochrany.

## 1.7 Kontrola činnosti ochran

- Pro rozpoznání poruchy na ochraně a kontrolu činnosti této ochrany se používá minimálně jeden z níže uvedených způsobů:
  - periodická provozní kontrola
  - důležité obvody ochrany se musí být pod trvalou a automatickou kontrolou.
  - během provozu ochrany se provádí funkční zkoušky. Ty se provádí buď ruční volbou na ochraně, nebo v naprogramovaných časových intervalech.
- Zařízení ochran mají být vybavena měřícími svorkami nebo zkušebními zásuvkami, aby bylo možné provést snadné ruční přezkoušení.
- Pro vyhodnocení činnosti ochran se zajišťuje zpracování potřebných signálů ze systému ochran (poruchová signalizace, informační systém atd.).

## 1.8 Požadavky na přístrojové transformátory

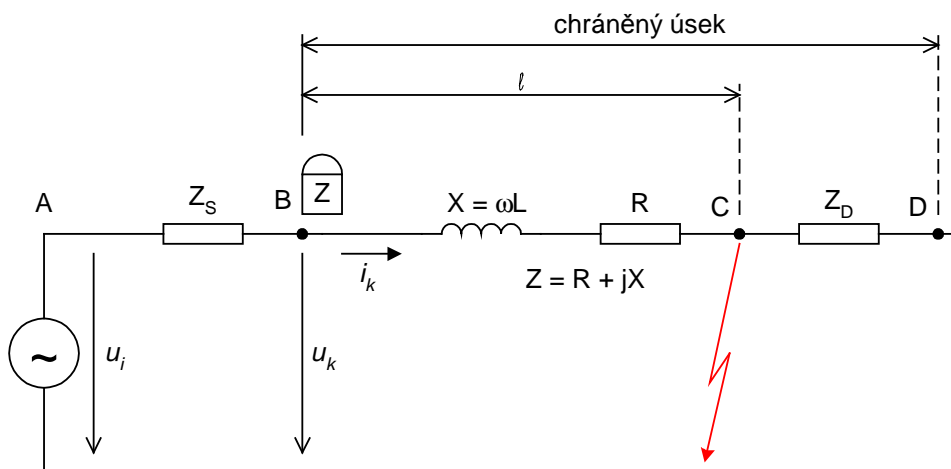
Požadavky na přístrojové transformátory, na spojovací vedení mezi nimi a ochranami stanoví výrobce ochran, tím se zajistí správná funkce ochran. Pokud není ochrana schopna ze všech podmínek bezchybné činnosti s přesycenými transformátory proudu nebo kapacitními transformátory napětí, musí se uvádět v technických podmínkách ochrany omezující podmínky.

Pro určité druhy a typy ochran a také schéma zapojení se vypočte skutečný nadproudový činitel přístrojových transformátorů proudu.

Ochrany a automatiky, které by mohly nesprávně působit při zapnutí nebo vypnutí jističe, mají být vybaveny blokováním činnosti pro tento stav. Pokud dojde k vypnutí jističů obvodu ochran přístrojových transformátorů napětí, musí být na řídicím pracovišti tento stav hlášen jako výstraha.

## 1.9 Distanční ochrany

Distanční ochrany jsou v dnešní době stále nejrozšířenější ochrany, které se používají v přenosových a distribučních sítích. Tyto ochrany pracují na principu měření impedance zkratové smyčky, a proto se jim říká impedance ochrany.



Obr. 1.3. Připojení distanční ochrany k chráněnému objektu

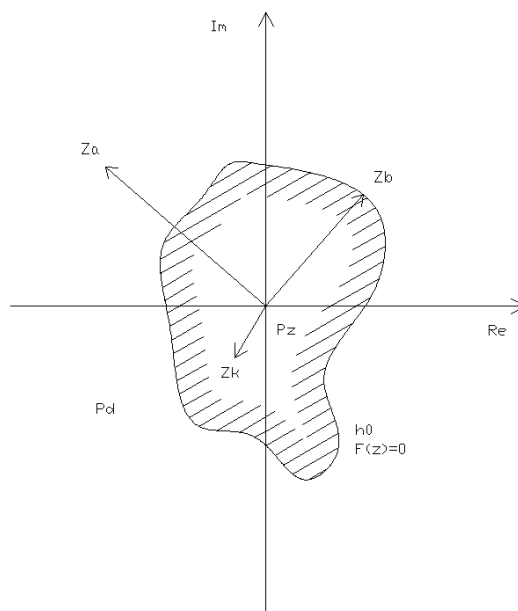
Na obrázku je připojení distanční ochrany k chráněnému objektu, kde ochrana měří velikosti napětí  $u_k$  a  $i_k$  v místě B.

$$u_k = z \cdot i_k \quad (2)$$

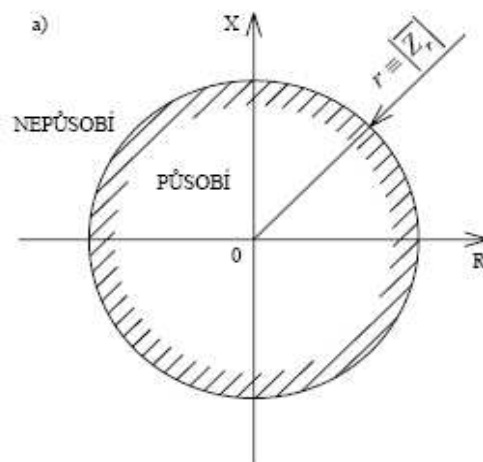
Tyto dvě veličiny určují impedanci zkratové smyčky a vzdálenost poruchy, která je na vedení. Pokud se jedná o ochranu vedení, vymezuje úsek impedance po délce vedení, tam kde působí.

## 1.9.1 Základní charakteristiky distančních ochran

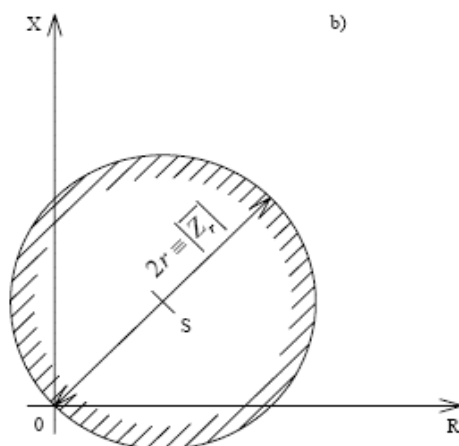
### a) Obecná charakteristika



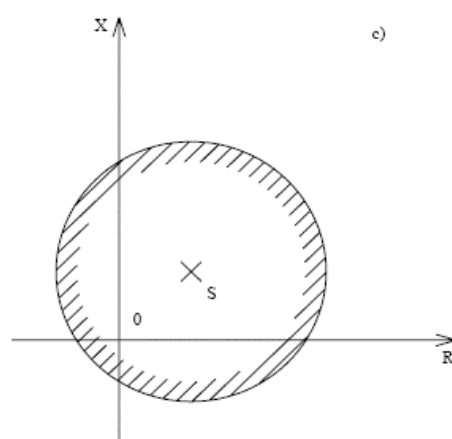
### b) Impedanční s kruhovou charakteristikou



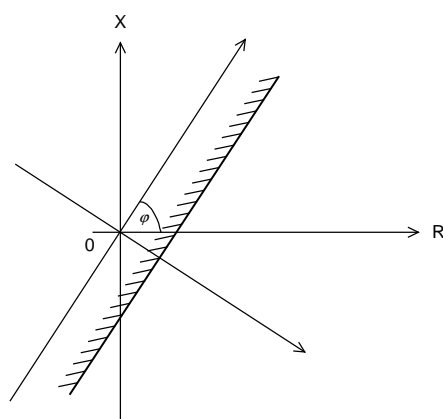
**c) Mho charakteristika Impedanční s kruhovou charakteristikou**



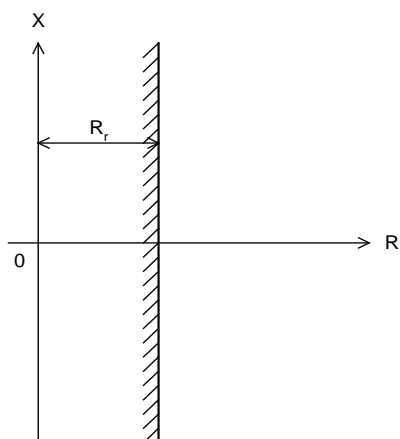
**d) Charakteristika Offset mho**



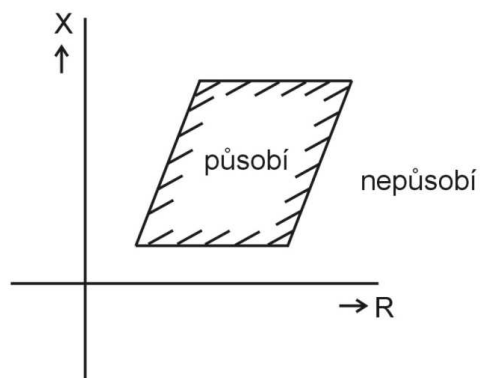
**e) Obecná přímková charakteristika**



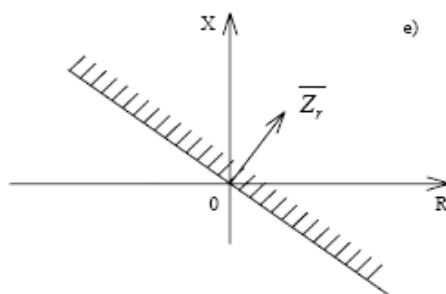
**f) Odporová charakteristika**



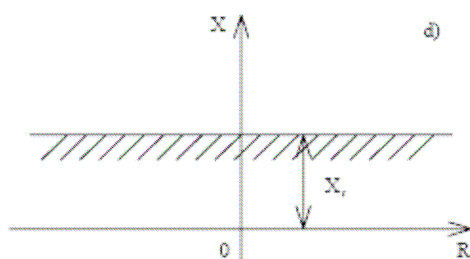
**g) Obecná polygonální charakteristika**



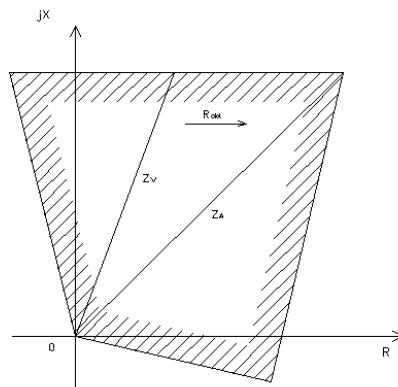
**h) Směrová přímková charakteristika - Prochází počátkem**



**i) Reaktanční charakteristika - je rovnoběžná s reálnou osou**



## j) Polygonální charakteristika



### 1.9.2 Vybavení ochrany jednotlivými členy

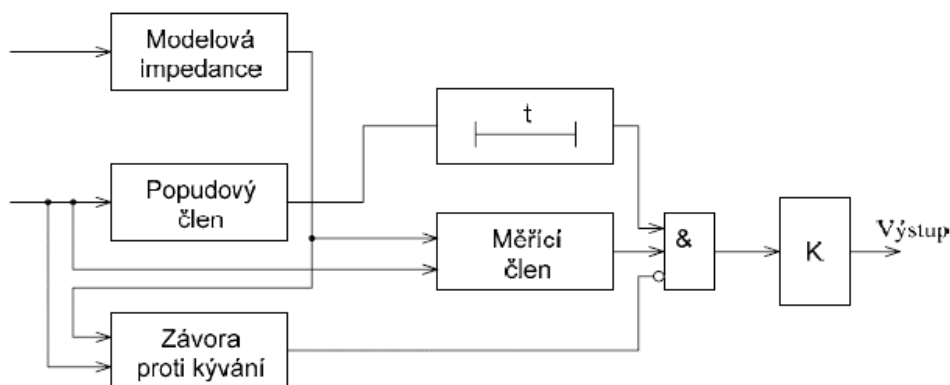
Činnost ochrany je dána funkcí následujících členů:

- **měřicí člen** - Měřicí člen měří a vyhodnocuje impedanci na základě vstupních hodnot. Pokud by tato impedance klesla pod hodnotu, která je nastavená, tento člen dává příkaz k vypnutí. Realizuje se jako fázový nebo jako amplitudový komparátor. U digitálních ochran číslicově.
- **směrový člen** - Tento člen nám určuje, kde se porucha nachází. Rozpoznává, zda se porucha nachází ve směru působnosti.
- **popudový člen** - Popudový člen nám určuje, zda v chráněné soustavě vznikl zkrat. Popudový člen může být dvojího druhu a to nadproudový nebo impedanční.
- **časový člen** - Tento člen má za úkol prodloužit dobu působení ochrany.
- **logika** - Rozhoduje o vypnutí.

**Popud distanční ochrany může být:**

- a) nadproudový
- b) nadproudový s podpět'ovým blokováním
- c) porovnání napětí a jeho nesouměrnosti
- d) distanční

Kvůli zvětšení odolnosti proti kývání bývají distanční popudy eliptické a jsou současně nejvyšším stupněm ochrany.



**Obr. 1.4. Blokové schéma distanční ochrany**

## **1.10 Nadproudové ochrany**

Nadproudové ochrany se používají, protože jsou velmi jednoduché. Mají ale nevýhodu, kterou je jejich špatná selektivnost. Selektivnější než nadproudové ochrany jsou distanční a rozdílové ochrany. Proto se používají u méně důležitých zařízení nebo jako záložní ochrany, kdy nahrazují funkci základní ochrany v případě jejího selhání a její doba působení je vždy delší než doba působení základní ochrany. Princip spočívá v reagování na zvýšený proud.

Nadproudové ochrany se nejčastěji používají jako zkratové ochrany, nebo také jako ochrany, které reagují při přetížení. Obě ochrany sledují nárůst proudu. Proto se označují jako nadproudové.

**Nadproudové ochrany rozlišujeme na:**

- nezávislé nadproudové ochrany
- závislé nadproudové ochrany

### **1.10.1 Nezávislé nadproudové ochrany**

U těchto ochran nastavujeme hodnotu poruchového proudu, a pokud je tato hodnota překročena, ochrana působí s konstantním nastaveným zpožděním, které je předem nastaveno a nezávisí na velikosti proudu. Nezávislé nadproudové ochrany se nejčastěji používají v radiálních sítích.

### **1.10.2 Závislé nadproudové ochrany**

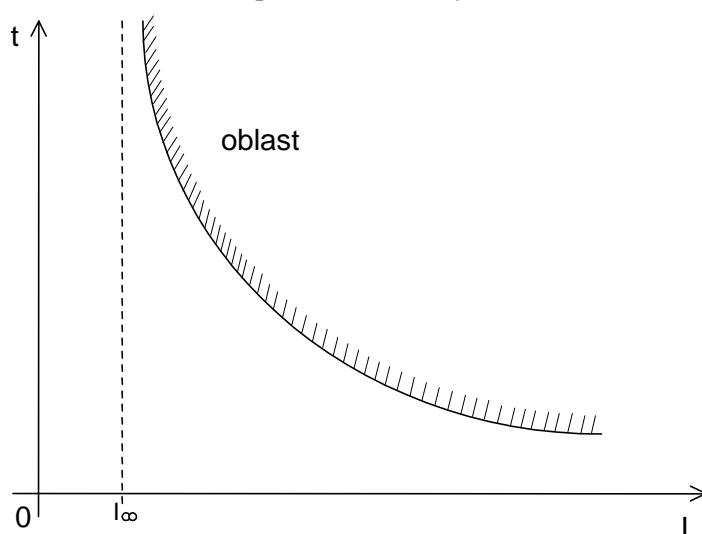
Tato ochrana má dobu působení zpožděnou o dobu, která je závislá na poruchové veličině. Závislé nadproudové ochrany nelze kombinovat s nezávislými ochranami, a to z důvodu, že by se jejich vypínací charakteristiky mohly vzájemně protínat. To by mohlo způsobit chybné vypínání a to je nepřijatelné.

### 1.10.3 Rozdělení nadproudových ochran dle charakteristik

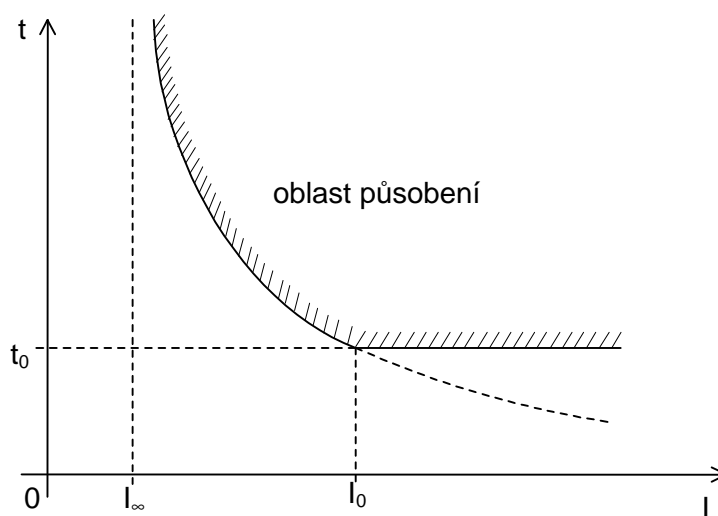
- závislé nadproudové ochrany
- polozávislé nadproudové ochrany
- nezávislé nadproudové ochrany
- mžikové nadproudové ochrany
- závislé nadproudové ochrany s mžikovým zkratovým článkem
- polozávislé nadproudové ochrany s mžikovým zkratovým článkem

#### Charakteristiky nadproudových ochran:

- Charakteristika závislé nadproudové ochrany

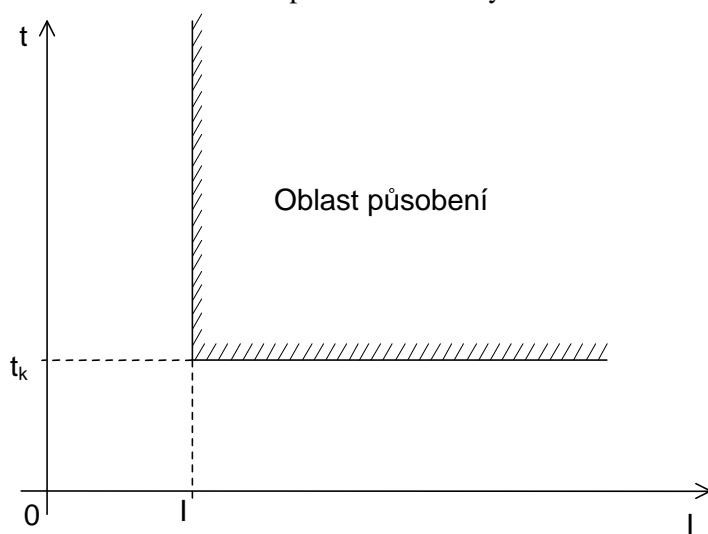


- Charakteristika polozávislé nadproudové ochrany

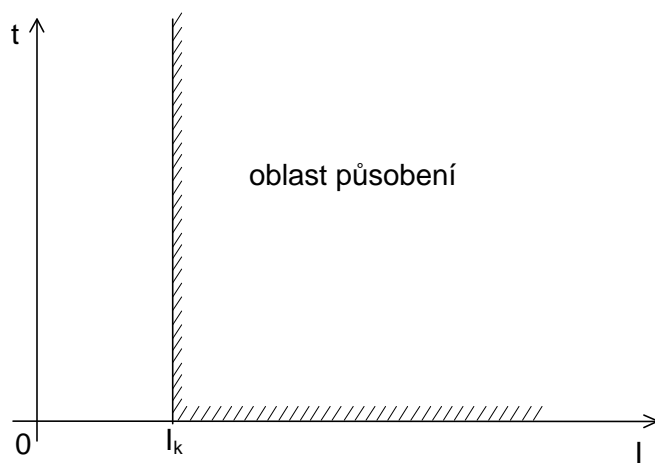




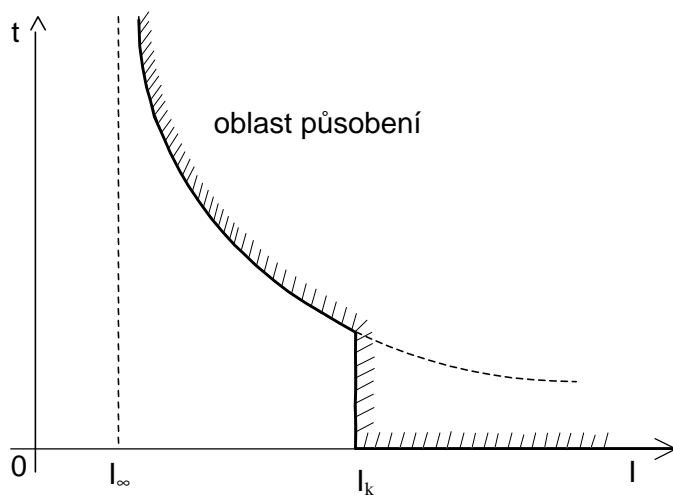
- Charakteristika nezávislé nadproudové ochrany



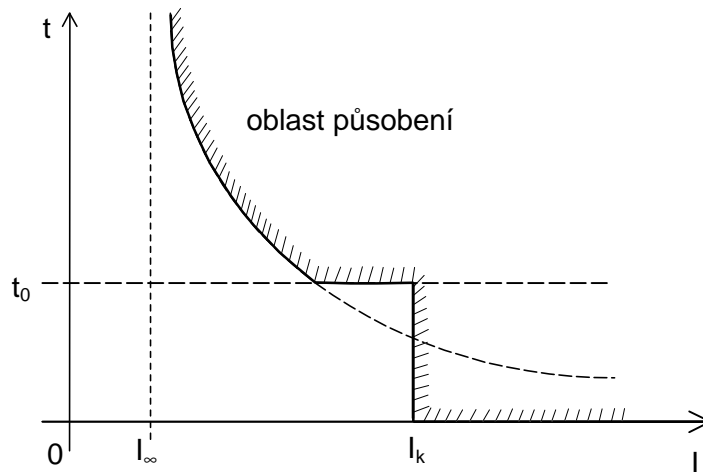
- Charakteristika mžikové nadproudové ochrany



- Charakteristika závislé nadproudové ochrany s mžikovým zkratovým článkem



- Charakteristika polozávislé nadproudové ochrany s mžikovým zkratovým článkem



## 2. Princip nastavení nadproudových a distančních ochran

Správné nastavení ochran je velmi důležité pro dosáhnutí vysoké spolehlivosti elektrizační sítě. Nastavíme-li ochranu nesprávně, může se stát to, že ochrana nezapůsobí v čas a budou přetěžovány určité prvky elektrizační soustavy, nebo naopak ochrana zapůsobí předčasně a dochází k výpadkům dodávky. Dojde-li ke změně konfigurace sítě, nebo k rekonstrukci rozvodny či sítě, mělo by se provést nové nastavení ochran pro jejich správnou funkci. Ochrany se mají nově nastavit, i pokud se objeví pochybnosti o jejich správném nastavení.

### 2.1 Nastavení nadproudových ochran

a) Stanovení stupně  $\Delta t$  časové selektivity

$$\Delta t = t_n - t_{n-1} \quad (3)$$

$$\Delta t = t_{v(n-1)} + t_{r(n-1)} + t_{rn} + t_z \quad (4)$$

Kde:

- $t_{v(n-1)}$  – je doba vypnutí vypínače předcházejícího (n-1) úseku
- $t_{r(n-1)}$  – je celková absolutní největší kladná chyba časového členu ochrany předcházejícího úseku
- $t_{rn}$  – je celková absolutní nejvyšší záporná chyba časového členu následující ochrany
- $t_z$  – je záložní čas, který zahrnuje předchozí nepřesnosti předchozích činitelů (cca 0,1 s)

b) Nastavení rozběhového proudu

$$I_r < \frac{I_{k \min}}{k_c \cdot p_i} \quad (5)$$

Kde:

- $I_{k \min}$  – je nejmenší zkratový proud na konci chráněného úseku, kde je konec chráněného úseku dán stupněm (délkou) zálohování
- $k_c$  – koeficient citlivosti (volí se  $k_c \geq 1,5$ )
- $p_i$  – jmenovitý převod jisticích transformátorů proudu

$$I_r > \frac{k_b \cdot I_n}{k_p \cdot p_i} \quad (6)$$

Kde:

- $I_n$  – je největší dovolené zatížení vodičů vedení, popř. jiného chráněného objektu
- $k_p$  – je přídržný poměr relé (u elektromechanických relé 0,85 – 0,95)
- $k_b$  – je koeficient bezpečnosti (1,1 – 1,35)
- $p_i$  – je jmenovitý převod jisticích transformátorů proudu

c) Koordinace proudového nastavení ochran, které jsou řazeny za sebou

$$I_m = (1,1 \div 1,3) I_{r(n-1)} \quad (7)$$

Kde:

- $I_m, I_{r(n-1)}$  – je proudové nastavení ochrany v úseku **n** a **n-1**

## 2.2 Nastavení distančních ochran

Nastavení digitálních ochran se provádí:

- Nastavením vypínacích charakteristik
- Konfigurací sběrnic a ovládacích kontaktů
- Výběrem a aktivací potřebných funkcí ochrany a pomocných funkcí
- Přizpůsobením ochrany sítě a měničům

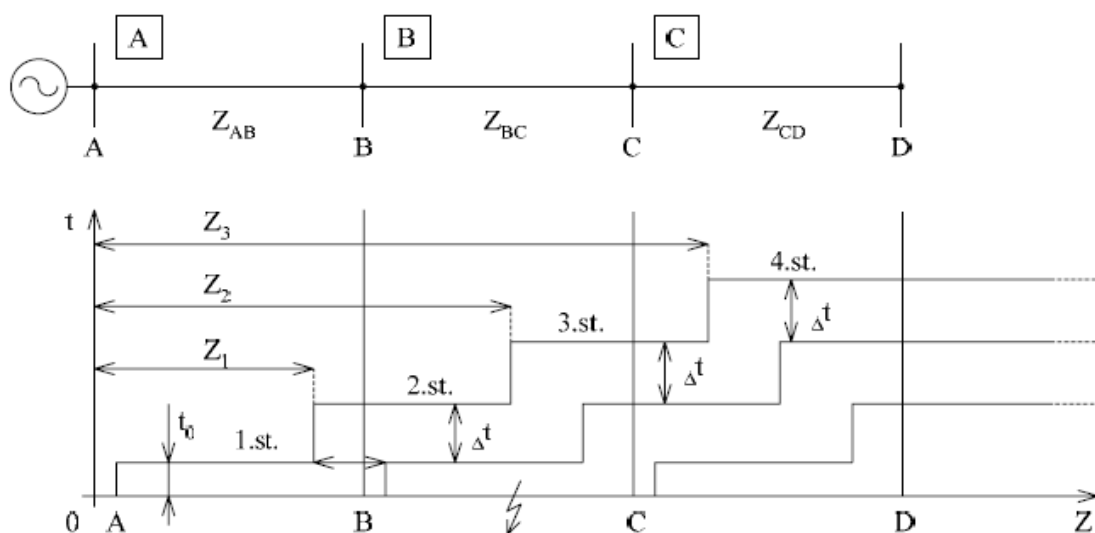
Při nastavení vypínacích charakteristik vycházíme z napěťové hladiny sítě, konfigurace sítě, parametrů a délky vedení, převodových poměrů napěťových a proudových transformátorů, zkratových a výkonových poměrů, přechodových odporů v místě poruchy (vzdálenosti vodičů, délky izolátoru, zemní odpory).

## 2.2.1 Nastavení měřících členů distanční ochrany

Nastavení těchto měřících členů se provádí ve většině případů pomocí třech až čtyř stupňů, které jsou časově odstupňovány tak, aby bylo možné selektivní vypnutí následujícími ochranami a při nastavení jejich dosahu, musíme brát v úvahu jejich rozlišovací schopnost (přesnost) měřícího impedančního členu, přesnost určení parametrů vedení, přesnost jistících transformátorů.

Chyba měření bývá v praxi poněkud vysoká, a to 10 - 20 % z nastavené impedance. Zpoždění prvního členu je dané nejen časem ochrany, které se pohybuje v rozmezí 20-100ms, ale také časem, za který vypínač vypne.

Následující vyšší stupně jsou zpožděny o koordinační časový interval, jehož hodnota je zpravidla 0,3-0,5 s.



Obr. 2.1. Nastavení distanční ochrany jednoduchého vedení

### Nastavení ochrany v místě A

1. rychlý stupeň:  $Z_1 = kZ_{AB}$ , kde  $k$  je bezpečnostní koeficient, jehož velikost závisí na očekávané přesnosti měření impedance a bývá 0,8 až 0,9
  2. stupeň:  $Z_2 = k(Z_{AB} + kZ_{BC})$
  3. stupeň:  $Z_3 = k[Z_{AB} + k(Z_{BC} + kZ_{CD})]$
  4. stupeň: dosah je dán citlivostí popudového členu ochrany
- $Z_{AB}$ ,  $Z_{BC}$ ,  $Z_{CD}$  jsou sousledné impedance jednotlivých úseků

Při nastavování ochrany v místě B, C či dalších stupňů se provádí obdobným způsobem jako v místě A.

## 2.2.2 Nastavení popudových členů distanční ochrany

Nastavení popudových členů se provádí stejně, jako u nadproudových nezávislých ochran. Musíme jen uvažovat minimální zkratový proud při všech druzích zkratu.

Popudový člen nesmí za normálního provozu zapůsobit a musí platit podmínka pro impedanční popud.

$$Z_r \leq Z_{\min} = \frac{U_{\min}}{I_{\max}} \quad (8)$$

Kde:

- $U_{\min}$  - je nejnižší napětí za normálního provozu (obvykle je  $U_{\min} = 0,9 U_n$ )
- $I_{\max}$  - je největší proud vedení (obvykle dovolené proudové zatížení vedení)

Jestli-že by nastal zkrat ve vedlejším úseku, který je zálohován ochranou, popudový člen musí být schopen tento zkrat zachytit.

$$Z_r \geq k_c \cdot Z_{k \max} \quad (9)$$

Kde:

- $k_c$  - je to koeficient citlivosti a velikost tohoto koeficientu by měla být větší než 1,5
- $Z_{k \max}$  - je to největší hodnota zkratové impedance, která je měřená na konci chráněného úseku ochranou při zkratu

### 3. Popis digitální ochrany Siemens 7SA6

Digitální distanční ochrany od firmy Siemens se obecně značí SIPROTEC 4 a toto označení určuje jejich řadu. Tyto ochrany jsou navrženy a využívány pro chránění, řízení a automatizaci. Ochrana Siemens 7SA6 je vybavena velkým prosvětleným displejem. Je velmi flexibilní a to ji dovoluje použít ve všech soustavách s napětovou hladinou od 5 kV do 500 kV. Veškeré funkce této ochrany se dají jednoduše nastavit v programu DIGSI a nebo přímo na čelním panelu této ochrany, za pomoci tlačítek. Toto nastavení je časově náročnější a složitější. Ochrana 7SA6 se vyrábí ve více provedeních, které se od sebe liší velikostí skříní, mechanickým provedením, počtem binárních vstupů a výstupů, či počtem signálních LED. Všechny úkoly ochrana zpracovává digitálně díky výkonnému mikroprocesoru.

#### 3.1 Vlastnosti

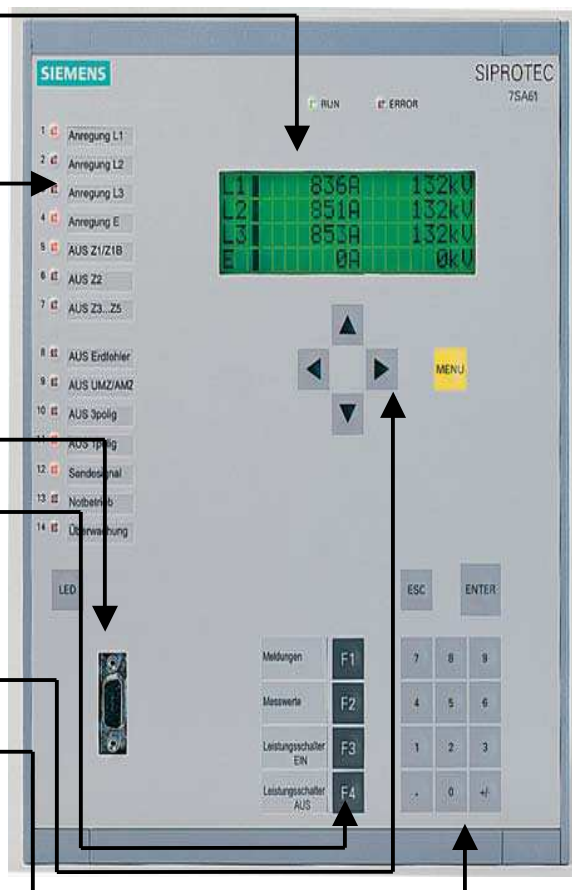
- Nejvyšší bezpečnost a spolehlivost je zajištěna testovanými ochrannými moduly.
- Díky ovládacímu softwaru, který je jednotný pro všechny ochrany SIPROTEC se šetří náklady na školení obsluhy těchto ochran. Obsluha tohoto programu je velice snadná.
- Také se šetří náklady za nákladné externí měřicí přístroje, které není díky jednoduchého a přehledného displeje naměřených hodnot zapotřebí.
- Úvodní program, který vás provede od instalace až po nastavení programu DIGSI, vám urychlí provedení ochrany.
- Díky integrované řídicí jednotce se šetří nejen prostor, ale také náklady za údržbu a provoz, které jsou šetřeny pomocí servisního komunikačního rozhraní.
- Tato ochrana má výkonný mikroprocesor, který je 32bitový.
- Veškeré interní obvody jsou galvanicky odděleny od měřících, napájecích a řídicích obvodů.
- Zcela digitální zpracování naměřených hodnot a kontroly, od odběrů vzorků z analogových vstupních hodnot, až po příkaz, který slouží pro vypnutí a zapnutí výkonového spínače.
- Kompletní rozsah funkcí, které jsou běžné pro ochranu odbočky vedení.
- Jednoduchý provoz ochrany pomocí integrovaného ovládacího panelu nebo připojeného obslužného osobního počítače.
- Ukládání poruch a okamžitých hodnot, které způsobily poruchu.

Produkty SIPROTEC od firmy Siemens jsou určeny pro chránění vedení, motorů a generátoru a nabízejí integrované řešení, které začíná rozsáhlou ochranou a kontrolou funkčnosti, pokračuje flexibilními možnostmi komunikace a přesvědčuje o kvalitách jedinečným provozním programem DIGSI pro všechny ochrany SIPROTEC.

### 3.2 Popis ochrany

Všechny akce obsluhy a informace je možné exportovat přes vestavěné uživatelské rozhraní:

- Prosvětlený LCD displej dokáže zpracovávat informace a vybavení je zobrazeno v různých seznamech jako text.
- Volně programovatelné LED slouží k zobrazení všech postupů a informací o zařízení. LED diody mohou být specificky označeny uživatelem. LED tlačítko resetuje LED diody.
- Řídicí rozhraní RS232
- Čtyři volně programovatelná funkční tlačítka umožňují uživateli spouštět často se vyskytující kroky a to snadno a rychle.
- Navigační klávesy
- Numerická klávesnice



Na zadní straně ochrany se nacházejí svorkovnice, které slouží jak pro napájení ochrany, tak pro zapojení ochrany do určitého obvodu.



**Obr. Zadní strana ochrany 7SA6**

### **3.3 Funkce**

#### **3.3.1 Distanční ochrana (ANSI 21, 21N)**

Distanční ochrana je hlavní funkcí tohoto přístroje a vyznačuje se vysokou přesností měření a schopností přizpůsobit se daným podmínkám celého systému. Je doplněna o řadu dalších funkcí.

- Tato ochrana se používá pro všechny typy poruch a to v sítích buď s uzemněným, kompenzovaným či izolovaným uzlem.
- Různé režimy umožňují adaptaci na jiný systém, podmínky a uživatelským filozofiím, kde uživatel volí možnosti detekce poruchy.
- Spolehlivé rozlišení mezi zatížením a poruchovým stavem u dlouhých či velmi zatížených vedeních.
- Ochrana je velmi citlivá i při provozu s malou zátěží, ale naopak je odolná proti kývání výkonu a skokům zatížení.
- Schopnost přizpůsobit se podmínkám vedení a to díky polygonální vypínací charakteristice, která je odděleně nastavená podél osy X a osy R, kde osa X je dosah a osa R je rezerva odporu.
- Je k dispozici šest měřících systémů pro každou distanční zónu a šest distančních zón, u kterých jde navolit směr dopředu či dozadu anebo také bez nastavení směru. Nakonec jedna zóna s přesahem a stupňováním, nebo možnost devíti časových stupňů pro distanční zóny.
- Nejkratší vypínací čas distanční ochrany je zhruba 17 ms pro jmenovitou frekvenci 50 Hz nebo 15 ms pro jmenovitou frekvenci 60 Hz.
- Pokud se ochrana připojí na poruchu, je schopna vypnout bez zpoždění.



### 3.3.2 Nadproudová ochrana (ANSI 50, 50N, 51, 51N)

- Časová nadproudová ochrana může být nastavitelná jako nouzová funkce při poruše měřeného napětí nebo jako záložní funkce, která je nezávislá na měřeném napětí.
- U této ochrany jsou k dispozici maximálně dva nezávislé stupně (DT) a jeden inverzní časový stupeň (IDTM) a to každý pro fázový proud a pro zemní proud.
- Pro ochranu IDTM je možný výběr z různých charakteristik vycházejících z několika norem. Je možné na ochraně nastavit časově závislé IEC nebo ANSI vypínací charakteristiky.
- Je možné okamžité vypnutí v jakékoliv fázi při přechodu na chybu.

Vzhledem k tomu, že distanční ochrana může správně fungovat pouze v případě, že je k dispozici signál měřeného napětí, tak nouzové nadproudové ochrany vyžadují pouze proudy. Pokud dojde ke ztrátě signálu měřeného napětí, tak se nouzová nadproudová funkce aktivuje automaticky. K tomu může dojít například v důsledku zkratu nebo jiného důvodu.

Pokud je ochrana 7SA6 nastavena jako rezervní nadproudová ochrana, bude fungovat nezávisle na ostatních ochranných a monitorovacích funkcích, tedy i bez ohledu na distanční funkci.

Pro nadproudovou ochranu jsou celkem čtyři stupně pro fázový proud a čtyři stupně pro zemní proud:

- Dva nadproudové stupně s určitou časovou charakteristikou.
- Jeden nadproudový stupeň s inverzní časovou charakteristikou IEC.
- Jeden z dalších nadproudových stupňů, který můžeme použít, je s časově závislou ANSI charakteristikou.

Všechny stupně, které jsou uvedeny v předcházejících bodech se mohou navzájem kombinovat, ale také jsou na sobě nezávislé. Pokud připojíme chráněný objekt na poruchu, může se přepnout jeden či více stupňů na vypínání poruchy, které je nezpožděné. Pokud jsou některé stupně nepotřebné, můžeme je nastavit jako neúčinné a to na hodnotu  $\infty$ .

### 3.3.3 Napěťová ochrana (ANSI 59,27)

- Detekuje přepětí a podpětí v různých stupních.
- Dva přepětíové stupně: pro napětí fáze-země se společným zpožděním, pro napětí fáze-fáze se společným zpožděním, pro symetrické sousledné složky napětí s jedním zpožděním, pro nulové složky napětí nebo jiné jednofázové napětí s jedním zpožděním, pro symetrické zpětné složky napětí s jedním zpožděním.
- Přídržné poměry pro funkci přepětíové ochrany jsou plně nastavitelné.

- Nachází se zde dva podpět'ové stupně pro napětí fáze-země se společným zpožděním, pro napětí fáze-fáze se společným zpožděním a pro symetrické sousledné složky napětí s jedním zpožděním.
- Pro funkci podpět'ové ochrany je zde i plně nastavitelné proudové kritérium.

### 3.3.4 Ochrana před zemním zkratem

- Je to časová nadproudová ochrana, která má tři nezávislé stupně (DT) a jeden inverzní časově závislý stupněm (IDTM) pro vysokou odolnost proti poruchám proti zemi v uzemněných systémech.
- Pro inverzní časovou ochranu může být proveden výběr různých vlastností na základě několika norem.
- Inverzní časový stupeň (IDTM) můžeme také nastavit jako čtvrtý stupeň nezávislého stupně (DT).
- Ochrana má vysokou citlivost, která je v závislosti na verzi od 3 mA.
- Současná stabilizace fázových proudů proti poškození v průběhu nasycení proudového transformátoru.
- Špičkové omezení druhou harmonickou.
- Každý stupeň může být nastaven jako nesměrový nebo směrový (dopředu nebo dozadu).
- S přenosem signálu může spolupracovat jeden či více stupňů, a to je především vhodné pro vedení, které má tři konce.
- Pokud dojde k připojení na poruchu, je možné okamžité vypnutí.
- Směr poruchy se dá určit za pomoci nulových složek proudu  $I_0$  a napětí  $U_0$  nebo nulovým proudem  $I_0$  a proudem, který protéká nulovým bodem transformátoru  $I_Y$ . Poslední možností určení směru poruchy je pomocí zpětných složek proudu  $I_2$  a napětí  $U_2$ .

### 3.3.5 Detekce kývání výkonu (ANSI 68, 68T)

Výkyvy v přenosové síti, můžou být způsobeny dynamickými přechodnými reakcemi, například krátkých obvodů, zatížením nebo sepnutím napájení. Během výkyvu výkonu, můžou velké proudy spolu s malým napětím způsobit nechtěnou poruchu relé distanční ochrany. Aby nedocházelo k nekontrolovaným poruchám distanční ochrany a dosáhlo se kontrolované poruchy v případě ztráty synchronizace se 7SA6 relé vybavuje účinným systémem detekce. Zapínací výkyvy mohou být detekovány v symetrickém zatížení, stejně jako v průběhu jednopólového automatického sepnutí.

### **Doplňkové funkce při kývání výkonu**

- Měření detekce kývání výkonu  $dZ/dt$  se třemi měřicími systémy.
- Detekce kývání výkonu maximálně do frekvence 7 Hz.
- Jsou funkční i při krátkodobém přerušení.
- Nastavitelné programy kývání výkonu.
- Prevence nežádoucích vypnutí distanční ochrany při kývání.

### **3.3.6 Funkce automatického opětného zapnutí (ANSI 79)**

Ochrana 7SA6 je vybavena funkcí automatického opětného zapnutí (OZ). Tato funkce zahrnuje několik provozních režimů:

- Používá se pro opětné zapnutí po jednofázovém , tří pólovém nebo jedno a tří pólovém vypnutí.
- Je k dispozici až 8 pokusů pro opětovné zapnutí.
- Třípólové automatické opětné zapnutí pro všechny typy chyb, jsou zde různé časy v závislosti na typu poruchy.
- Jednofázové automatické opětné zapnutí pro jednofázové chyby.
- Jednofázové automatické opětné zapnutí pro jednofázové chyby a pro dvoufázové chyby bez vlivu země.
- Jednofázové automatické opětné zapnutí pro jednofázové a třípólové automatické opětné zapnutí pro multifázové chyby.
- Jednofázové automatické opětné zapnutí pro jednofázové chyby a dvoufázové bez vlivu země a třípólové opětné zapnutí pro multifázové chyby.
- Vzájemné působení s externím zařízením pro automatické opětné zapnutí pomocí binárních vstupů a výstupů.
- Řízení vnitřní funkce OZ vnější ochrany.
- Interakce s interní nebo externí kontrolou synchronizace.
- Sledování jističe pomocného kontaktu.

Kromě výše zmíněných provozních režimů, může být několik dalších zásad činnosti zaměstnaných prostřednictvím integrované programovatelné logiky.

Automatické opětovné zapínání se používá jen na otevřených vedeních. Jen u těchto vedení může dojít k samočinnému zhasnutí zkratového oblouku. U 85% obloukových zkratů na otevřených vedení dochází k již zmiňovanému samočinnému zhasnutí oblouku po odpojení ochranou. Po tomto zhasnutí se může vedení opět připojit. K tomuto slouží automatika opětného zapnutí.

### **3.3.7 Kontrola synchronizace**

Kontrola synchronních podmínek se provádí po třípólovém vypnutí a to před jejím opětovným zapnutím. Druhý důvod proč se tato kontrola provádí, je, jsou-li dvě síťové části přešlé do řízení a zabezpečení. Za tímto účelem je zajištěna kontrola funkce synchronizace.

### **3.3.8 Kmitočtová ochrana**

Tato ochrana se používá pro sledování poklesu nebo nárůstu kmitočtu se čtyřmi frekvenčními limity. Kmitočtová ochrana je nezávisle nastavitelná na ostatních funkcích. Je velmi málo citlivá na změnu fázového úhlu a má velký kmitočtový rozsah, který se pohybuje od 25 Hz až do 70 Hz.

### **3.3.9 Odstranění rušivých signálů**

Digitální filtry dělají jednotky odolné vůči rušení signálů obsažených v naměřených hodnotách. Zejména je značně snížen vliv změny prvků DC kapacitních měničů napětí a frekvence. Jsou používány speciální měřicí metody v zájmu zajištění ochrany selektivity při nasycení proudu.

### **3.3.10 Monitoring měření napětí**

Vypínání distanční ochrany je zablokováno automaticky v případě poruchy měření napětí, čímž se zabrání podvržení poruchy. Měřicí napětí je sledováno zabudovanou pojistkou selhání. Distanční ochrana je zablokována, pokud selže jedna pojistka monitoru nebo pomocný kontakt přepínače transformátoru napětí ochrany a působí v tomto případě určitý čas. Tímto můžou být aktivovány nadproudové ochrany.

### **3.3.11 Dálková ochranná funkce pro distanční ochrany**

Dálková ochranná funkce je k dispozici pro rychlé odbavení poruch až do výše 100% délky vedení. Lze zvolit následující provozní režimy:

- POTT a směrové načtení
- Odblokování
- PUTT zrychlení s načtením
- PUTT Z1B akcelerace
- Blokování
- Řídící vliv srovnání
- Reverzní blokování

Pro odesílání a přijímání signálů jsou k dispozici binární vstupy a výstupy. Alespoň jeden kanál je vyžadován pro každý směr. 7SA6 také umožňuje převod fázově selektivních signálů. Tato funkce vyžaduje tři kanály pro každý směr a je zvláště výhodná, protože zajišťuje spolehlivé opojení jednopólové poruchy, pokud je jednopólová porucha na různých vedeních. Během problému v signalizaci kanálového přijímače nebo na přenosu obvodu, může být dálková ochranná funkce blokována pomocí binárního vstupního signálu, aniž by zóny ztratily selektivitu. Přechodné blokování, je poskytováno pro všechny verze a blokování metody pro potlačení rušivých signálů při poruše.

### **3.3.12 Okamžitý vysokorychlostní přepínač nadproudové ochrany (ANSI 50HS)**

Okamžité vypnutí je vyžadováno při energizujícím chybném vedení. V případě zavinění velkými proudy, vysokorychlostní přepínač nadproudového stupně zahájí velmi rychle třípólové přepínání. S menší chybou proudu, přepínač poruchy okamžitě vypne poté co je také možné přesáhnouti distanční zóny Z1B. Zahájení přepínače poruchy lze detekovat pomocí binárního vstupu "manuální zavření", nebo automaticky pomocí měření.

### **3.3.13 Další funkce**

Mezi další funkce ochrany patří například ochrana proti selhání výkonového vypínače, proti tepelnému přetížení, kontrolní funkce, sycení měřícího transformátoru proudu, stabilizace zapínání, doplňkové funkce pro přenos signálu, externí přímé a dálkové vypínání, rychlé vypínání při velkém proudu a další funkce.

## **3.4 Komunikace**

Pokud jde o komunikaci, zvláštní důraz je kladen na požadavky zákazníků v oblasti automatizace energetiky:

- Již během procesu komunikace, jsou informace přiřazeny jejich příčinám (například převod označení na odpovídající příkaz).
- Komunikační systém automaticky zpracovává přenos velkých datových bloků (například porucha nahrávky nebo parametr datových souborů). Uživatel má přístup k těmto funkcím bez dalších programových úsilí.
- Pro bezpečný výkon kontroly příkazu datového telegramu je zpočátku potvrzena zařízení, které spustí příkaz. Po uvolnění a provedení příkazu je generován zpětnovazební signál. V každé fázi řízení provádění příkazu jsou kontrolovány

konkrétní podmínky. Jestliže nejsou splněny, může být spouštění příkazů ukončeno kontrolovaným způsobem.

## **Přední rozhraní**

Na přední straně ochrany je sériové rozhraní RS232. Přes toto rozhraní připojujeme ochranu nejen k počítači, ale používáme ho také pro analýzu chyb.

## **Zadní rozhraní**

Na zadní straně jsou další komunikační moduly a mohou být vybaveny tak, aby sloužily různým aplikacím. V uložení ochrany, může být modul postaven tak, že ho uživatel snadno vymění. Jsou podporovány následující aplikace:

- Časová synchronizace interních hodin. Elektrické časové synchronizované rozhraní je pevně integrováno. V průběhu času zpráv, mohou být ve formátu IRIG-B nebo DCF77 čas přijímače v synchronním podávacím zařízení.
- Systémové rozhraní - toto rozhraní se používá pro komunikaci s centrálním řídicím systémem.
- Servisní rozhraní - je určeno pro vzdálený přístup k více ochranným zařízením přes DIGSI 4. Může být provozováno na všech zařízeních jako RS232/RS485 a na některých zařízeních jako optické rozhraní.
- Ochranné rozhraní - 7SA6 mohou být vybaveny ochranou rozhraní pro sériovou datovou komunikaci ochrany.

## **3.5 Program DIGSI 4**

Je to společný ovládací program pro všechny ochrany SIPROTEC. Tento program umožňuje uživatelům (obsluze) jednoduché nastavování a provozování všech ochrany SIPROTEC. Program DIGSI 4 je kompatibilní s operačními systémy MS Windows 2000/XP Professional. Ke všem funkcím ochrany jsou přiřazeny určité adresy. Díky tomuto je nastavování snadno zvládnutelné.

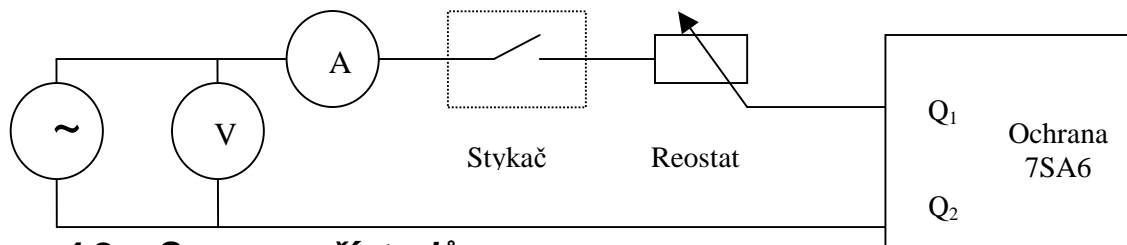
## **Jednoduché nastavení ochrany**

Z četných ochranných funkcí mohou být vybrány opravdu jen ty, které jsou skutečně zapotřebí. To zvyšuje přehlednost v ostatních nabídkách.

Nastavení lze zadat a zobrazit jako primární nebo sekundární. Přepínání mezi primárními a sekundárními hodnotami se provádí pomocí myši kliknutím v panelu nástrojů.

## 4. Kontrola vypínacích charakteristik nadproudového stupně ochrany 7SA6

### 4.1 Schéma zapojení



### 4.2 Seznam přístrojů

- Digitální ochrana Siemens 7SA6101-5AB02-4FJ0/DD
- Reostat 105Ω, 25 A
- Autotransfornátor RA 10, v.č. 323610
- UT70B 300/310 (Voltmetr)
- METEX M-3650 CR 305/2004 (Ampérmetr)
- Stykač

### 4.3 Postup kontroly vypínacích charakteristik

Postup kontroly vypínacích charakteristik ochrany Siemens 7SA6 je následující. Po úspěšném připojení této ochrany k počítači přes řídicí rozhraní RS232, po instalaci ochrany a programu DIGSI 4 na počítači, se musí ochrana nastavit, aby komunikovala s počítačem. Zapojíme ochranu dle schématu zapojení, které si volíme sami pomocí přiloženého manuálu od firmy Siemens. Zapneme ochranu a spustíme program DIGSI 4. V programu otevřeme soubor TEST a poté provedeme připojení ochrany. V menu zvolíme settings a nastavíme ochranu za pomoci manuálu jako nadproudovou ochranu.

Dalším krokem je nastavení ochrany na časově závislé IEC charakteristiky, která je normálně inverzní a nastavení časového faktoru  $T_p$  na hodnotu 1. Na reostatu a autotransfornátoru nastavíme nejnižší možný proud, na který ochrana zareaguje, a odečteme čas, za který ochrana zapůsobila. Poté zvýšíme proud na další hodnoty a změříme vypínací časy. Po odměření normálně inverzní charakteristiky odměříme i ostatní časově závislé IEC charakteristiky (velmi inverzní, extrémně inverzní, dlouhodobě inverzní). Opět nastavíme ochranu, ale již na časově závislé ANSI charakteristiky (časový faktor D nastavíme na hodnotu 1), kterých je více a odměříme stejným způsobem jako předešlé měření.

Všechny naměřené hodnoty (poruchový proud, napětí a změřený vypínací čas ochrany) zapíšeme do předem vytvořené tabulky a provedeme příslušné výpočty vypínacího času ochrany a relativní chyby. Vzorce pro výpočet vypínacích časů nalezneme v manuálu této ochrany.

Z vypočtených a naměřených hodnot vyneseme grafy vypínacích charakteristik. Porovnáme odchylky od naměřených a vypočtených hodnot a zhodnotíme kontrolu vypínacích charakteristik ochrany Siemens 7SA6.

#### 4.4 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot časově závislé normálně inverzní IEC charakteristiky, příklad výpočtu a graf vypínací charakteristiky

Pro  $T_p = 1$  a  $I_p = 1$

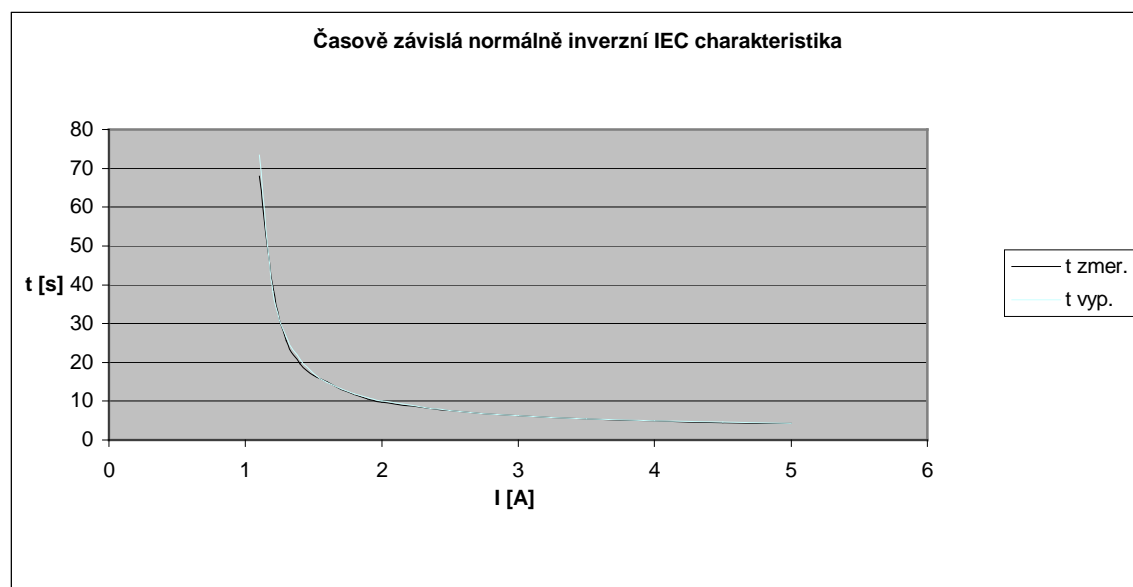
	U [V]	I [A]	$t_{zmer.}$ [s]	$t_{vyp.}$ [s]	$\delta$ [%]
1.	10,66	1,1	67,987	73,374	-7,342
2.	10,63	1,2	39,668	38,324	3,508
3.	10,64	1,3	25,540	26,611	-4,023
4.	10,66	1,4	19,569	20,734	-5,620
5.	10,64	1,5	16,690	17,194	-2,932
6.	10,64	1,6	15,069	14,824	1,655
7.	10,61	1,7	12,980	13,122	-1,082
8.	10,6	1,8	11,700	11,839	-1,176
9.	10,59	1,9	10,629	10,836	-1,911
10.	10,55	2	9,719	10,029	-3,091
11.	10,52	2,5	7,580	7,570	0,136
12.	10,5	3	6,281	6,302	-0,332
13.	10,48	3,5	5,400	5,518	-2,137
14.	10,42	4	4,940	4,980	-0,798
15.	10,39	4,5	4,520	4,584	-1,404
16.	10,39	5	4,270	4,280	-0,227

$U$  - napětí na zdroji  
 $t_{zmer.}$  - změřený vypínací čas [s]  
 $t_{vyp.}$  - vypočtený vypínací čas [s]  
 $I$  - poruchový proud [A]  
 $I_p$  - nastavená hodnota proudu [A]  
 $T_p$  - nastavená hodnota časového faktoru [-]  
 $\delta$  - relativní chyba [%]

Příklad výpočtu :

$$t_{vyp.} = \frac{0,14}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^{0,02} - 1} \cdot T_p = \frac{0,14}{\left(\frac{2}{1}\right)^{0,02} - 1} \cdot 1 = 10,029 \text{ s} \quad (10)$$

$$\delta = \frac{t_{zmer.} - t_{vyp.}}{t_{vyp.}} \cdot 100 = \frac{9,719 - 10,029}{10,029} \cdot 100 = -3,091 \% \quad (11)$$





#### 4.5 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot časově závislé velmi inverzní IEC charakteristiky, příklad výpočtu a graf vypínací charakteristiky

Pro  $T_p = 1$  a  $I_p = 1$

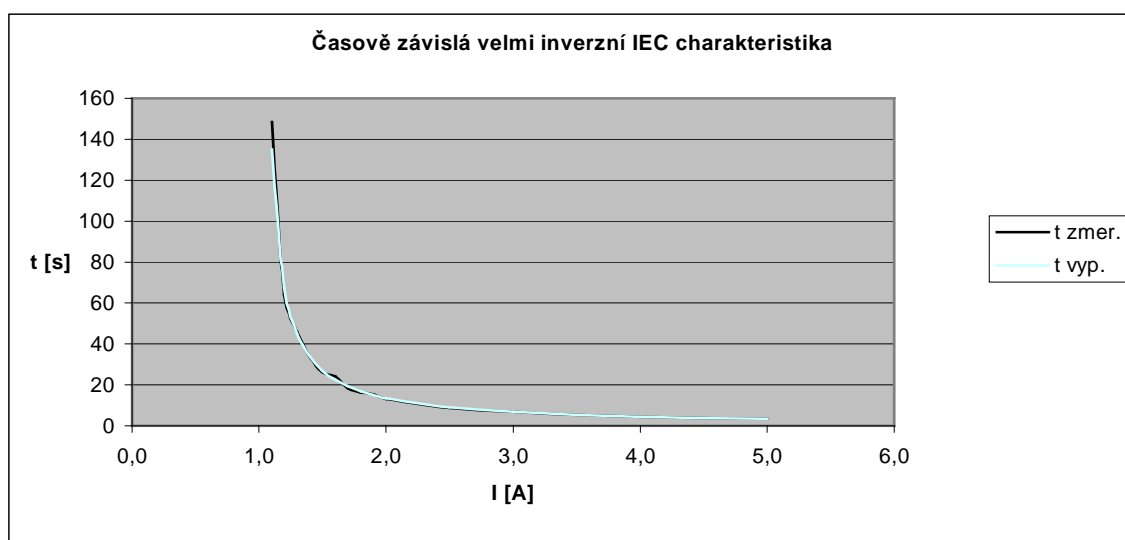
	U [V]	I [A]	$t_{zmer.}$ [s]	$t_{vyp.}$ [s]	$\delta$ [%]
1.	10,66	1,1	148,552	135,000	10,039
2.	10,63	1,2	64,088	67,500	-5,055
3.	10,64	1,3	45,839	45,000	1,864
4.	10,66	1,4	33,459	33,750	-0,862
5.	10,64	1,5	26,329	27,000	-2,485
6.	10,64	1,6	24,020	22,500	6,756
7.	10,61	1,7	18,390	19,286	-4,644
8.	10,60	1,8	16,170	16,875	-4,178
9.	10,59	1,9	15,440	15,000	2,933
10.	10,55	2,0	13,169	13,500	-2,452
11.	10,52	2,5	8,850	9,000	-1,667
12.	10,50	3,0	6,750	6,750	0,000
13.	10,48	3,5	5,270	5,400	-2,407
14.	10,42	4,0	4,420	4,500	-1,778
15.	10,39	4,5	3,890	3,857	0,852
16.	10,39	5,0	3,331	3,375	-1,304

$U$  - napětí na zdroji  
 $t_{zmer.}$  - změřený vypínací čas [s]  
 $t_{vyp.}$  - vypočtený vypínací čas [s]  
 $I$  - poruchový proud [A]  
 $I_p$  - nastavená hodnota proudu [A]  
 $T_p$  - nastavená hodnota časového faktoru [-]  
 $\delta$  - relativní chyba [%]

Příklad výpočtu :

$$t_{vyp.} = \frac{13,5}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^1 - 1} \cdot T_p = \frac{13,5}{\left(\frac{2}{1}\right)^1 - 1} \cdot 1 = 13,5s \quad (12)$$

$$\delta = \frac{t_{zmer.} - t_{vyp.}}{t_{vyp.}} \cdot 100 = \frac{13,169 - 13,5}{13,5} \cdot 100 = -2,452 \% \quad (13)$$



#### 4.6 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot časově závislé extrémně inverzní IEC charakteristiky, příklad výpočtu a graf vypínací charakteristiky

Pro  $T_p = 1$  a  $I_p = 1$

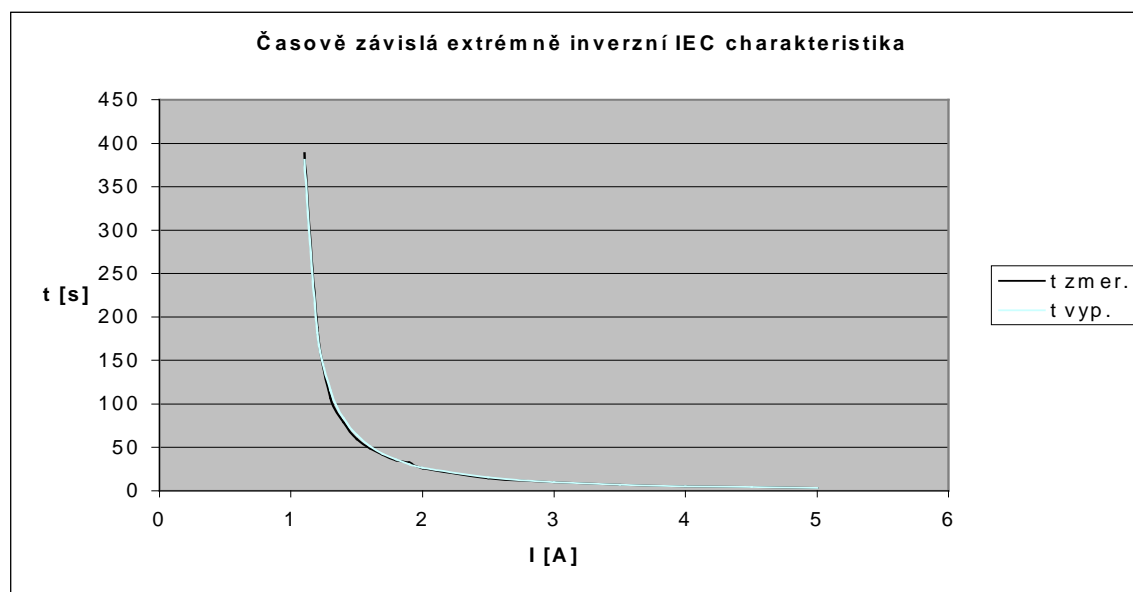
	U [V]	I [A]	$t_{zmer.}$ [s]	$t_{vyp.}$ [s]	$\delta$ [%]
1.	10,66	1,1	388,554	380,952	1,995
2.	10,63	1,2	187,682	181,818	3,225
3.	10,64	1,3	106,916	115,942	-7,785
4.	10,66	1,4	78,967	83,333	-5,240
5.	10,64	1,5	59,378	64,000	-7,222
6.	10,64	1,6	48,529	51,282	-5,368
7.	10,61	1,7	41,408	42,328	-2,174
8.	10,6	1,8	34,949	35,714	-2,143
9.	10,59	1,9	32,888	30,651	7,297
10.	10,55	2	25,809	26,667	-3,216
11.	10,52	2,5	14,540	15,238	-4,581
12.	10,5	3	10,000	10,000	0,000
13.	10,48	3,5	6,960	7,111	-2,125
14.	10,42	4	5,490	5,333	2,938
15.	10,39	4,5	4,090	4,156	-1,584
16.	10,39	5	3,189	3,333	-4,330

$U$  - napětí na zdroji  
 $t_{zmer.}$  - změřený vypínací čas [s]  
 $t_{vyp.}$  - vypočtený vypínací čas [s]  
 $I$  - poruchový proud [A]  
 $I_p$  - nastavená hodnota proudu [A]  
 $T_p$  - nastavená hodnota časového faktoru [-]  
 $\delta$  - relativní chyba [%]

Příklad výpočtu :

$$t_{vyp.} = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^2 - 1} \cdot T_p = \frac{80}{\left(\frac{2}{1}\right)^2 - 1} \cdot 1 = 26,667 \text{ s} \quad (14)$$

$$\delta = \frac{t_{zmer.} - t_{vyp.}}{t_{vyp.}} \cdot 100 = \frac{25,809 - 26,667}{26,667} \cdot 100 = -3,216 \% \quad (15)$$



#### 4.7 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot časově závislé dlouhodobě inverzní IEC charakteristiky, příklad výpočtu a graf vypínací charakteristiky

Pro  $T_p = 1$  a  $I_p = 1$

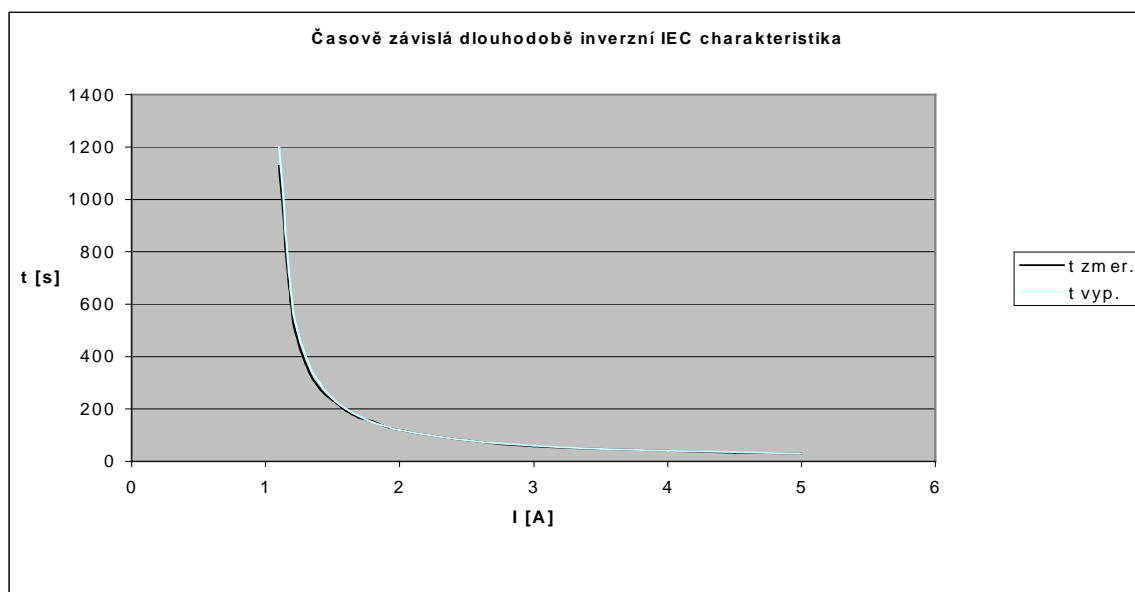
	U [V]	I [A]	$t_{zmer.}$ [s]	$t_{vyp.}$ [s]	$\delta$ [%]
1.	10,66	1,1	1128,000	1200,000	-6,000
2.	10,63	1,2	560,980	600,000	-6,503
3.	10,64	1,3	371,580	400,000	-7,105
4.	10,66	1,4	278,390	300,000	-7,203
5.	10,64	1,5	232,990	240,000	-2,921
6.	10,64	1,6	192,800	200,000	-3,600
7.	10,61	1,7	166,900	171,429	-2,642
8.	10,6	1,8	151,790	150,000	1,193
9.	10,59	1,9	130,890	133,333	-1,833
10.	10,55	2	118,600	120,000	-1,167
11.	10,52	2,5	81,300	80,000	1,625
12.	10,5	3	57,900	60,000	-3,500
13.	10,48	3,5	47,090	48,000	-1,896
14.	10,42	4	39,800	40,000	-0,500
15.	10,39	4,5	33,600	34,286	-2,000
16.	10,39	5	29,500	30,000	-1,667

$U$  - napětí na zdroji  
 $t_{zmer.}$  - změřený vypínací čas [s]  
 $t_{vyp.}$  - vypočtený vypínací čas [s]  
 $I$  - poruchový proud [A]  
 $I_p$  - nastavená hodnota proudu [A]  
 $T_p$  - nastavená hodnota časového faktoru [-]  
 $\delta$  - relativní chyba [%]

**Příklad výpočtu :**

$$t_{vyp.} = \frac{120}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^1 - 1} \cdot T_p = \frac{120}{\left(\frac{2}{1}\right)^1 - 1} \cdot 1 = 120 \text{ s} \quad (16)$$

$$\delta = \frac{t_{zmer.} - t_{vyp.}}{t_{vyp.}} \cdot 100 = \frac{118,6 - 120}{120} \cdot 100 = -1,167 \% \quad (17)$$



#### 4.8 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot časově závislé inverzní ANSI charakteristiky, příklad výpočtu a graf vypínací charakteristiky

Pro  $D = 1$  a  $I_p = 1$

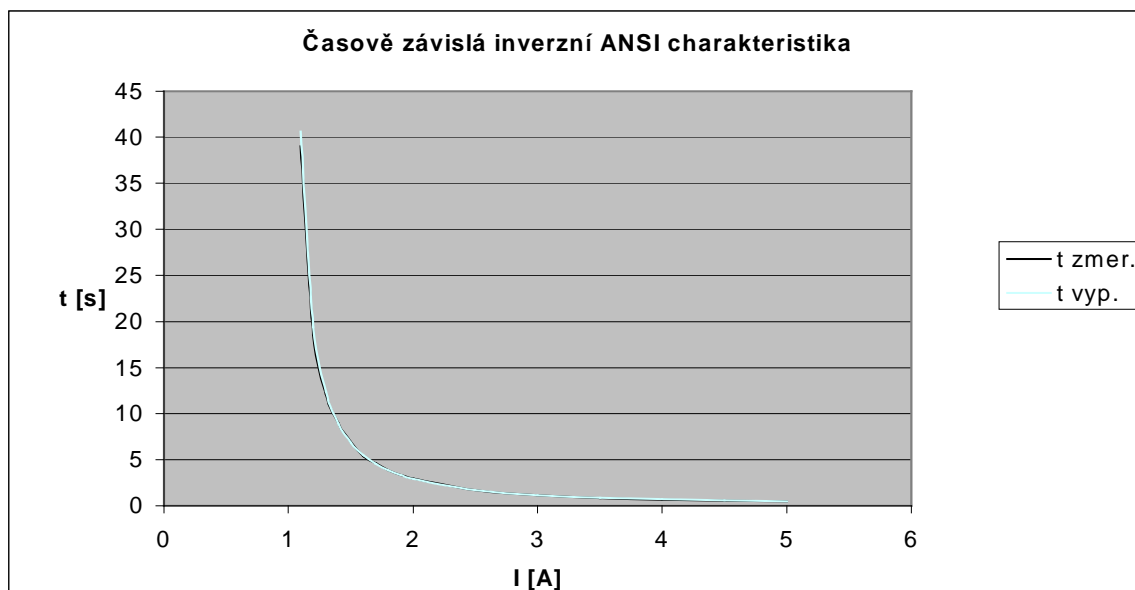
	U [V]	I [A]	$t_{zmer.}$ [s]	$t_{vyp.}$ [s]	$\delta$ [%]
1.	10,66	1,1	39,038	40,630	-3,918
2.	10,63	1,2	18,569	19,399	-4,281
3.	10,64	1,3	12,079	12,383	-2,454
4.	10,66	1,4	8,920	8,914	0,065
5.	10,64	1,5	6,930	6,861	1,009
6.	10,64	1,6	5,370	5,512	-2,580
7.	10,61	1,7	4,610	4,565	0,996
8.	10,6	1,8	3,850	3,866	-0,411
9.	10,59	1,9	3,350	3,332	0,537
10.	10,55	2	2,970	2,913	1,961
11.	10,52	2,5	1,720	1,717	0,168
12.	10,5	3	1,170	1,175	-0,416
13.	10,48	3,5	0,840	0,879	-4,422
14.	10,42	4	0,680	0,698	-2,638
15.	10,39	4,5	0,560	0,580	-3,442
16.	10,39	5	0,480	0,498	-3,594

$U$  - napětí na zdroji  
 $t_{zmer.}$  - změřený vypínací čas [s]  
 $t_{vyp.}$  - vypočtený vypínací čas [s]  
 $I$  - poruchový proud [A]  
 $I_p$  - nastavená hodnota proudu [A]  
 $D$  - nastavená hodnota časového faktoru [-]  
 $\delta$  - relativní chyba [%]

Příklad výpočtu :

$$t_{vyp.} = \left( \frac{8,9341}{\left( \frac{I}{I_p} \right)^{2,0938} - 1} + 0,17966 \right) \cdot D = \left( \frac{8,9341}{\left( \frac{2}{1} \right)^{2,0938} - 1} + 0,17966 \right) \cdot 1 = 2,913s \quad (18)$$

$$\delta = \frac{t_{zmer.} - t_{vyp.}}{t_{vyp.}} \cdot 100 = \frac{2,97 - 2,913}{2,913} \cdot 100 = 1,961 \% \quad (19)$$



#### 4.9 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot časově závislé krátce inverzní ANSI charakteristiky, příklad výpočtu a graf vypínací charakteristiky

Pro  $D = 1$  a  $I_p = 1$

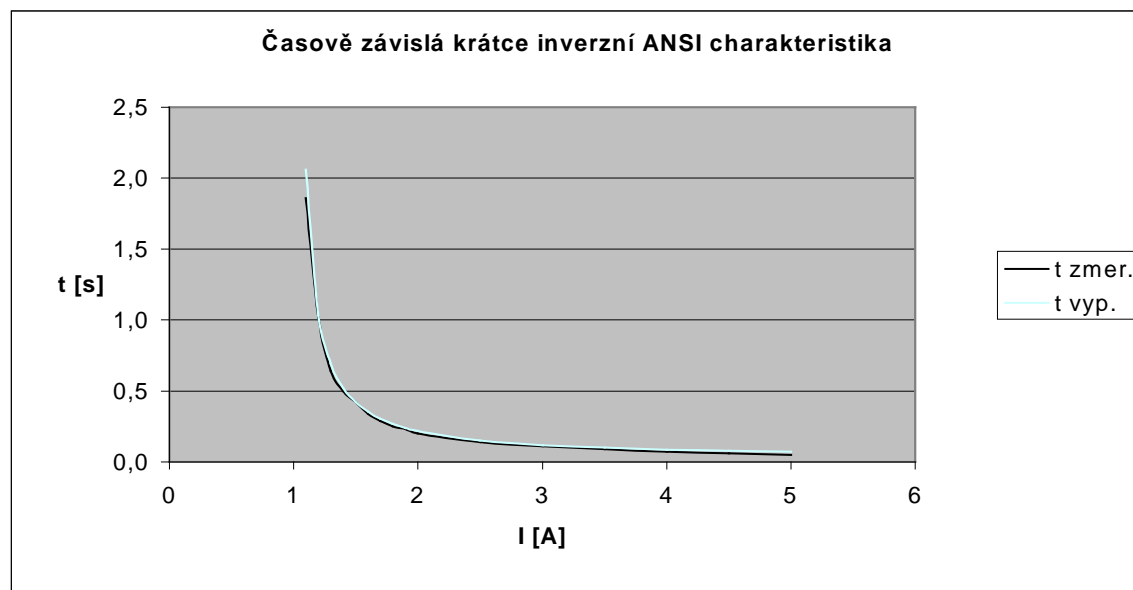
	U [V]	I [A]	$t_{zmer.}$ [s]	$t_{vyp.}$ [s]	$\delta$ [%]
1.	10,66	1,1	1,860	2,058	-9,617
2.	10,63	1,2	1,020	1,032	-1,187
3.	10,64	1,3	0,640	0,691	-7,374
4.	10,66	1,4	0,500	0,521	-3,974
5.	10,64	1,5	0,420	0,419	0,283
6.	10,64	1,6	0,340	0,351	-3,163
7.	10,61	1,7	0,290	0,303	-4,259
8.	10,6	1,8	0,250	0,267	-6,322
9.	10,59	1,9	0,230	0,239	-3,747
10.	10,55	2	0,200	0,217	-7,708
11.	10,52	2,5	0,140	0,151	-7,066
12.	10,5	3	0,111	0,118	-6,157
13.	10,48	3,5	0,090	0,099	-9,319
14.	10,42	4	0,070	0,087	-19,355
15.	10,39	4,5	0,060	0,078	-23,145
16.	10,39	5	0,050	0,072	-30,201

$U$  - napětí na zdroji  
 $t_{zmer.}$  - změřený vypínací čas [s]  
 $t_{vyp.}$  - vypočtený vypínací čas [s]  
 $I$  - poruchový proud [A]  
 $I_p$  - nastavená hodnota proudu [A]  
 $D$  - nastavená hodnota časového faktoru [-]  
 $\delta$  - relativní chyba [%]

Příklad výpočtu :

$$t_{vyp.} = \left( \frac{0,2663}{\left( \frac{I}{I_p} \right)^{1,2969} - 1} + 0,03393 \right) \cdot D = \left( \frac{0,2663}{\left( \frac{2}{1} \right)^{1,2969} - 1} + 0,03393 \right) \cdot 1 = 0,217 \text{ s} \quad (20)$$

$$\delta = \frac{t_{zmer.} - t_{vyp.}}{t_{vyp.}} \cdot 100 = \frac{0,2 - 0,217}{0,217} \cdot 100 = -7,708 \% \quad (21)$$



#### 4.10 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot časově závislé dlouze inverzní ANSI charakteristiky, příklad výpočtu a graf vypínací charakteristiky

Pro  $D = 1$  a  $I_p = 1$

	U [V]	I [A]	$t_{zmer.}$ [s]	$t_{vyp.}$ [s]	$\delta$ [%]
1.	10,66	1,1	61,120	58,329	4,785
2.	10,63	1,2	29,539	30,257	-2,374
3.	10,64	1,3	20,720	20,900	-0,862
4.	10,66	1,4	15,739	16,222	-2,975
5.	10,64	1,5	13,169	13,415	-1,830
6.	10,64	1,6	11,250	11,543	-2,539
7.	10,61	1,7	9,869	10,206	-3,305
8.	10,6	1,8	8,912	9,204	-3,170
9.	10,59	1,9	8,120	8,424	-3,609
10.	10,55	2	7,610	7,800	-2,439
11.	10,52	2,5	5,900	5,929	-0,486
12.	10,5	3	4,990	4,993	-0,061
13.	10,48	3,5	4,410	4,432	-0,488
14.	10,42	4	4,100	4,057	1,051
15.	10,39	4,5	3,790	3,790	0,000
16.	10,39	5	3,530	3,589	-1,657

$U$  - napětí na zdroji

$t_{zmer.}$  - změřený vypínací čas [s]

$t_{vyp.}$  - vypočtený vypínací čas [s]

$I$  - poruchový proud [A]

$I_p$  - nastavená hodnota proudu [A]

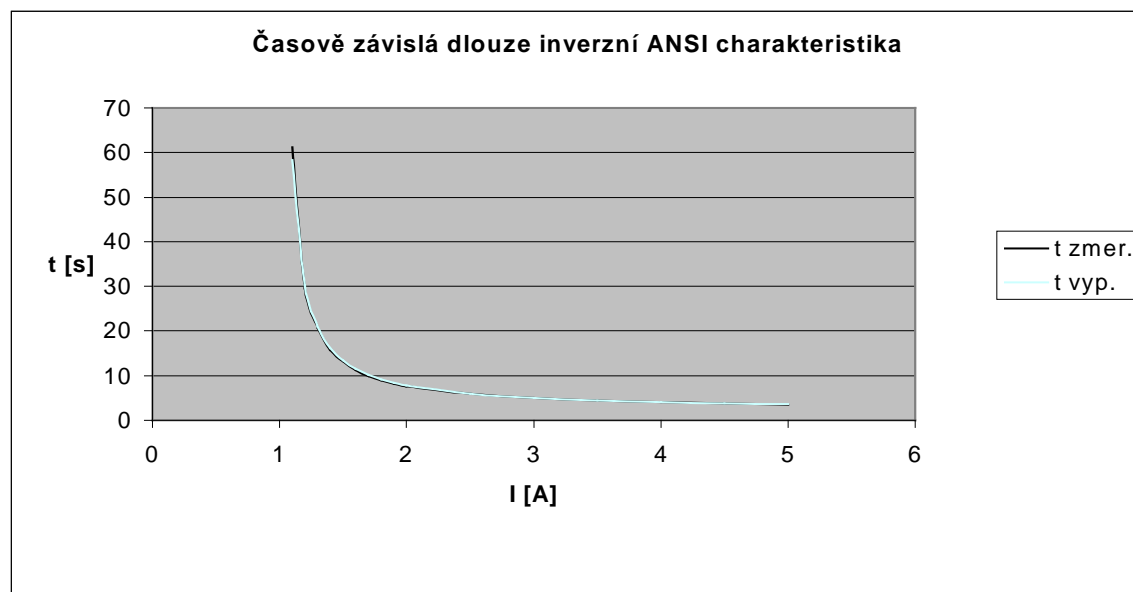
$D$  - nastavená hodnota časového faktoru [-]

$\delta$  - relativní chyba [%]

Příklad výpočtu :

$$t_{vyp.} = \left( \frac{5,6143}{\left( \frac{I}{I_p} \right) - 1} + 2,18592 \right) \cdot D = \left( \frac{5,6143}{\left( \frac{2}{1} \right) - 1} + 2,18592 \right) \cdot 1 = 7,8s \quad (22)$$

$$\delta = \frac{t_{zmer.} - t_{vyp.}}{t_{vyp.}} \cdot 100 = \frac{7,61 - 7,8}{7,8} \cdot 100 = -2,439 \% \quad (23)$$



#### 4.11 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot časově závislé mírně inverzní ANSI charakteristiky, příklad výpočtu a graf vypínací charakteristiky

Pro  $D = 1$  a  $I_p = 1$

	U [V]	I [A]	$t_{zmer.}$ [s]	$t_{vyp.}$ [s]	$\delta$ [%]
1.	10,66	1,1	5,130	5,421	-5,369
2.	10,63	1,2	2,791	2,842	-1,806
3.	10,64	1,3	1,969	1,981	-0,584
4.	10,66	1,4	1,510	1,548	-2,470
5.	10,64	1,5	1,350	1,288	4,830
6.	10,64	1,6	1,040	1,113	-6,592
7.	10,61	1,7	0,931	0,988	-5,789
8.	10,6	1,8	0,881	0,894	-1,435
9.	10,59	1,9	0,810	0,820	-1,222
10.	10,55	2	0,730	0,761	-4,029
11.	10,52	2,5	0,561	0,580	-3,228
12.	10,5	3	0,460	0,486	-5,436
13.	10,48	3,5	0,410	0,429	-4,376
14.	10,42	4	0,370	0,389	-4,925
15.	10,39	4,5	0,350	0,360	-2,799
16.	10,39	5	0,320	0,338	-5,232

$U$  - napětí na zdroji

$t_{zmer.}$  - změřený vypínací čas [s]

$t_{vyp.}$  - vypočtený vypínací čas [s]

$I$  - poruchový proud [A]

$I_p$  - nastavená hodnota proudu [A]

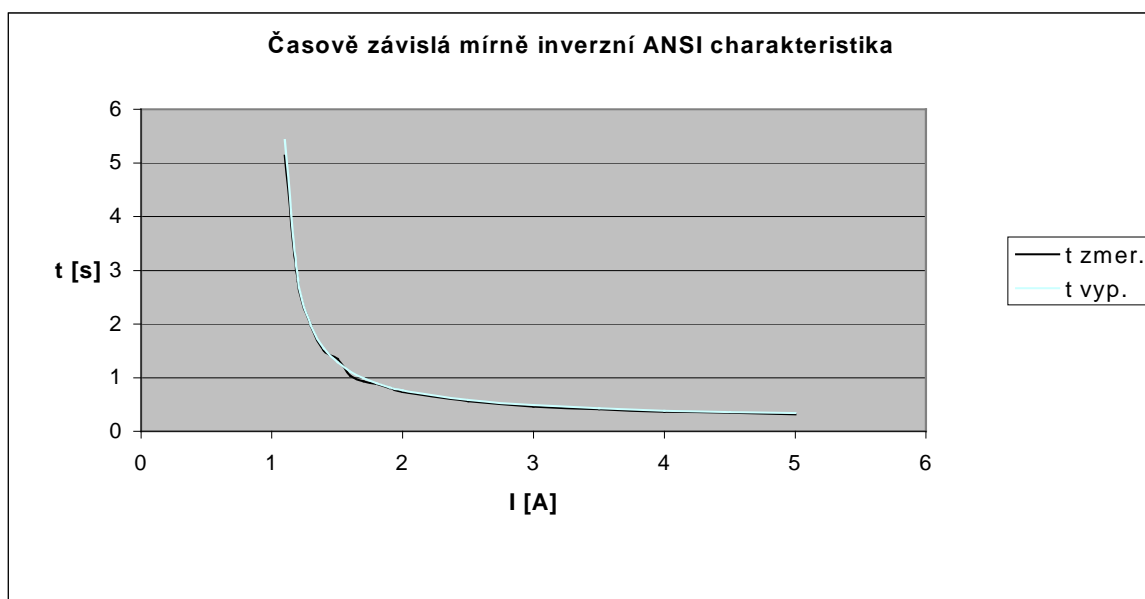
$D$  - nastavená hodnota časového faktoru [-]

$\delta$  - relativní chyba [%]

Příklad výpočtu :

$$t_{vyp.} = \left( \frac{0,0103}{\left( \frac{I}{I_p} \right)^{0,02} - 1} + 0,0228 \right) \cdot D = \left( \frac{0,0103}{\left( \frac{2}{1} \right)^{0,02} - 1} + 0,0228 \right) \cdot 1 = 0,761 \text{ s} \quad (24)$$

$$\delta = \frac{t_{zmer.} - t_{vyp.}}{t_{vyp.}} \cdot 100 = \frac{0,73 - 0,761}{0,761} \cdot 100 = -4,029 \% \quad (25)$$



#### 4.12 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot časově závislé velmi inverzní ANSI charakteristiky, příklad výpočtu a graf vypínací charakteristiky

Pro  $D = 1$  a  $I_p = 1$

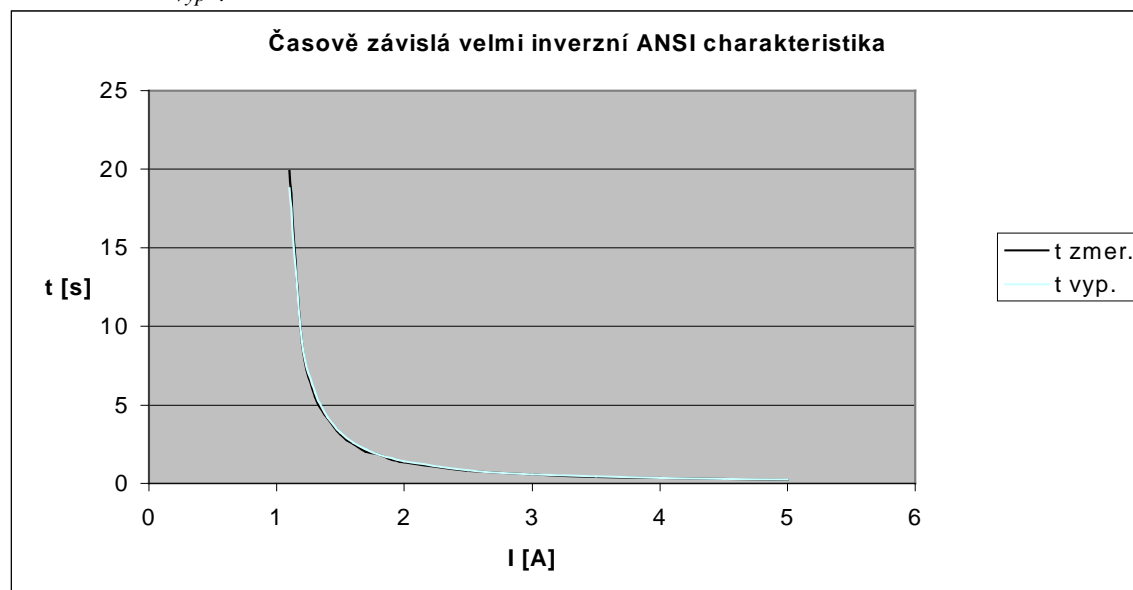
	U [V]	I [A]	$t_{zmer.}$ [s]	$t_{vyp.}$ [s]	$\delta$ [%]
1.	10,66	1,1	19,889	18,774	5,937
2.	10,63	1,2	8,929	9,012	-0,919
3.	10,64	1,3	5,490	5,782	-5,054
4.	10,66	1,4	4,110	4,184	-1,760
5.	10,64	1,5	3,130	3,236	-3,270
6.	10,64	1,6	2,500	2,612	-4,299
7.	10,61	1,7	2,020	2,173	-7,055
8.	10,6	1,8	1,840	1,849	-0,492
9.	10,59	1,9	1,520	1,601	-5,052
10.	10,55	2	1,350	1,406	-3,951
11.	10,52	2,5	0,820	0,845	-2,987
12.	10,5	3	0,590	0,588	0,263
13.	10,48	3,5	0,430	0,447	-3,765
14.	10,42	4	0,360	0,360	0,093
15.	10,39	4,5	0,280	0,302	-7,266
16.	10,39	5	0,240	0,262	-8,263

$U$  - napětí na zdroji  
 $t_{zmer.}$  - změřený vypínací čas [s]  
 $t_{vyp.}$  - vypočtený vypínací čas [s]  
 $I$  - poruchový proud [A]  
 $I_p$  - nastavená hodnota proudu [A]  
 $D$  - nastavená hodnota časového faktoru [-]  
 $\delta$  - relativní chyba [%]

Příklad výpočtu :

$$t_{vyp.} = \left( \frac{3,922}{\left( \frac{I}{I_p} \right)^2 - 1} + 0,0982 \right) \cdot D = \left( \frac{3,922}{\left( \frac{2}{1} \right)^2 - 1} + 0,0982 \right) \cdot 1 = 1,406s \quad (26)$$

$$\delta = \frac{t_{zmer.} - t_{vyp.}}{t_{vyp.}} \cdot 100 = \frac{1,35 - 1,406}{1,406} \cdot 100 = -3,951 \% \quad (27)$$





### 4.13 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot časově závislé extrémně inverzní ANSI charakteristiky, příklad výpočtu a graf vypínací charakteristiky

Pro  $D = 1$  a  $I_p = 1$

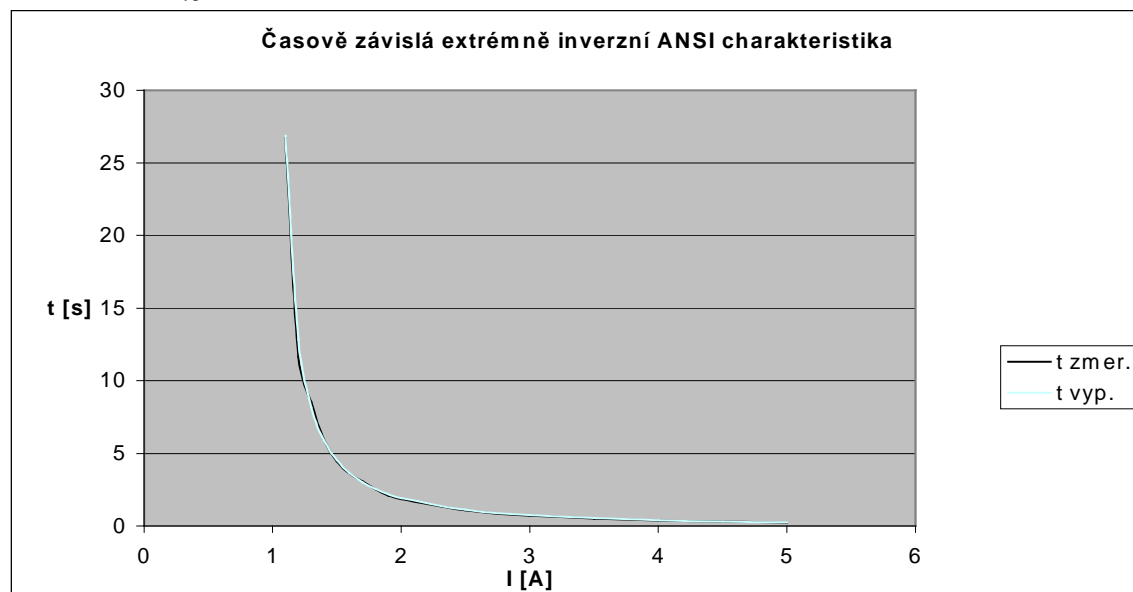
	U [V]	I [A]	$t_{zmer.}$ [s]	$t_{vyp.}$ [s]	$\delta$ [%]
1.	10,66	1,1	26,709	26,881	-0,642
2.	10,63	1,2	11,640	12,843	-9,364
3.	10,64	1,3	8,530	8,198	4,047
4.	10,66	1,4	5,930	5,899	0,520
5.	10,64	1,5	4,459	4,536	-1,705
6.	10,64	1,6	3,590	3,640	-1,366
7.	10,61	1,7	3,060	3,008	1,713
8.	10,6	1,8	2,530	2,542	-0,480
9.	10,59	1,9	2,080	2,185	-4,817
10.	10,55	2	1,860	1,904	-2,328
11.	10,52	2,5	1,091	1,099	-0,694
12.	10,5	3	0,700	0,729	-4,023
13.	10,48	3,5	0,510	0,526	-2,982
14.	10,42	4	0,380	0,400	-5,081
15.	10,39	4,5	0,310	0,317	-2,309
16.	10,39	5	0,240	0,259	-7,457

$U$  - napětí na zdroji  
 $t_{zmer.}$  - změřený vypínací čas [s]  
 $t_{vyp.}$  - vypočtený vypínací čas [s]  
 $I$  - poruchový proud [A]  
 $I_p$  - nastavená hodnota proudu [A]  
 $D$  - nastavená hodnota časového faktoru [-]  
 $\delta$  - relativní chyba [%]

Příklad výpočtu :

$$t_{vyp.} = \left( \frac{5,64}{\left( \frac{I}{I_p} \right)^2 - 1} + 0,02434 \right) \cdot D = \left( \frac{5,64}{\left( \frac{2}{1} \right)^2 - 1} + 0,02434 \right) \cdot 1 = 1,904 \text{ s} \quad (28)$$

$$\delta = \frac{t_{zmer.} - t_{vyp.}}{t_{vyp.}} \cdot 100 = \frac{1,86 - 1,904}{1,904} \cdot 100 = -2,328 \% \quad (29)$$



#### 4.14 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot časově závislé jednoznačně inverzní ANSI charakteristiky, příklad výpočtu a graf vypínací charakteristiky

Pro  $D = 1$  a  $I_p = 1$

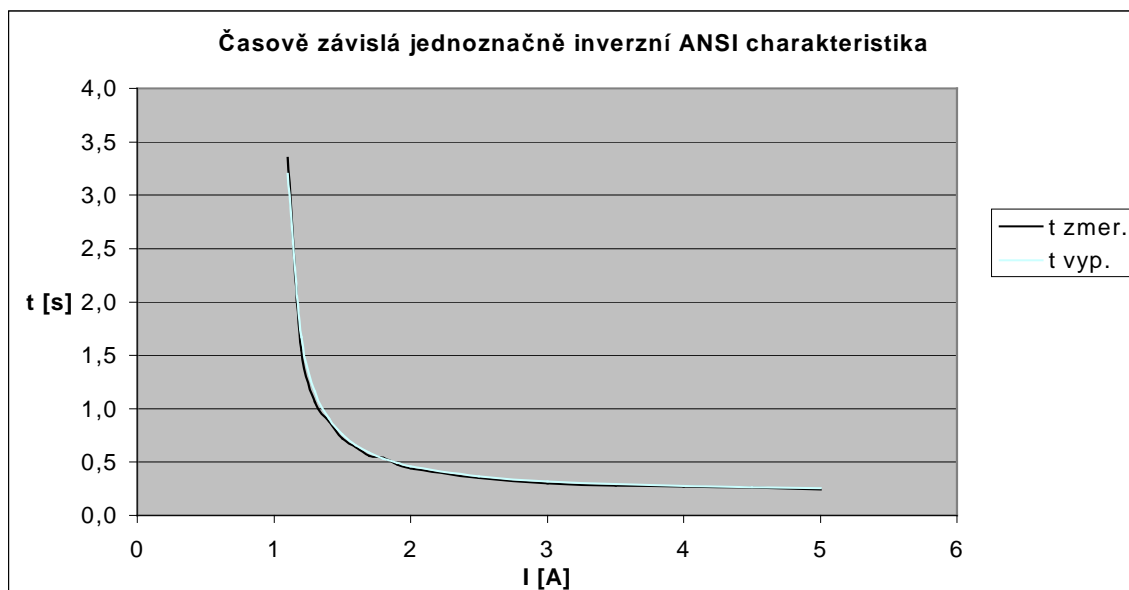
	U [V]	I [A]	$t_{zmer.}$ [s]	$t_{vyp.}$ [s]	$\delta$ [%]
1.	10,66	1,1	3,350	3,201	4,660
2.	10,63	1,2	1,550	1,669	-7,130
3.	10,64	1,3	1,060	1,160	-8,640
4.	10,66	1,4	0,880	0,907	-2,987
5.	10,64	1,5	0,720	0,756	-4,771
6.	10,64	1,6	0,641	0,656	-2,293
7.	10,61	1,7	0,560	0,585	-4,287
8.	10,6	1,8	0,540	0,532	1,454
9.	10,59	1,9	0,480	0,491	-2,338
10.	10,55	2	0,440	0,459	-4,167
11.	10,52	2,5	0,350	0,364	-3,889
12.	10,5	3	0,300	0,319	-5,856
13.	10,48	3,5	0,280	0,292	-4,265
14.	10,42	4	0,271	0,276	-1,703
15.	10,39	4,5	0,261	0,264	-1,194
16.	10,39	5	0,240	0,256	-6,178

$U$  - napětí na zdroji  
 $t_{zmer.}$  - změřený vypínací čas [s]  
 $t_{vyp.}$  - vypočtený vypínací čas [s]  
 $I$  - poruchový proud [A]  
 $I_p$  - nastavená hodnota proudu [A]  
 $D$  - nastavená hodnota časového faktoru [-]  
 $\delta$  - relativní chyba [%]

Příklad výpočtu :

$$t_{vyp.} = \left( \frac{0,4797}{\left( \frac{I}{I_p} \right)^{1,5625} - 1} + 0,21359 \right) \cdot D = \left( \frac{0,4797}{\left( \frac{2}{1} \right)^{1,5625} - 1} + 0,21359 \right) \cdot 1 = 0,459 \text{ s} \quad (30)$$

$$\delta = \frac{t_{zmer.} - t_{vyp.}}{t_{vyp.}} \cdot 100 = \frac{0,44 - 0,459}{0,459} \cdot 100 = -4,167 \% \quad (31)$$



## 5. Zhodnocení naměřených výsledků

Hlavním úkolem této diplomové práce byla kontrola vypínacích charakteristik digitální ochrany Siemens 7SA6. Dalším cílem v této diplomové práci bylo seznámení s ochranami obecně a také s digitální ochranou Siemens 7SA6.

První dvě kapitoly, které jsou teoretické, seznamují čtenáře se základy ochran, jejich rozdělením, nastavením nadproudových a distančních ochran.

Základní popis digitální ochrany Siemens 7SA6 je uveden v třetí kapitole, ve které jsou sepsány základní funkce této ochrany, její vlastnosti, způsob komunikace s uživatelem pomocí programu DIGSI 4.

Praktická část této diplomové práce je uvedena ve čtvrté kapitole. Tato kapitola byla zaměřena na hlavní úkol, kterým byla kontrola vypínacích charakteristik digitální ochrany Siemens 7SA6. Proměřeny byly všechny časově závislé IEC charakteristiky (normálně inverzní, velmi inverzní, extrémně inverzní a dlouhodobě inverzní) a všechny časově závislé ANSI charakteristiky (inverzní, krátce inverzní, dlouze inverzní, mírně inverzní, velmi inverzní, extrémně inverzní a jednoznačně inverzní). Firma Siemens v katalogu ochrany 7SA6 udává v technických datech, že odchylka od změřené a vypočtené hodnoty by měla být v toleranci  $\pm 5\%$ . Porovnával jsem absolutní chybou  $\delta$ , kterou jsem vypočetl z naměřených a vypočtených hodnot vypínacích časů s odchylkou danou výrobcem ( $\pm 5\%$ ). Zjistil jsem, že ne všechny odchylky od změřených a vypočtených hodnot se vlezly do tolerance  $\pm 5\%$ . Relativní chyba se pohybovala v rozsahu -7,342 až 3,508 % u normálně inverzní, -5,055 až 10,039 % u velmi inverzní, -7,785 až 7,297 % u extrémně inverzní a -7,203 až 1,625 % u dlouhodobě inverzní časově závislé IEC vypínací charakteristiky. U časově závislých vypínacích charakteristik ANSI byla relativní chyba v rozmezí -4,281 až 1,961 % u inverzní, -30,201 až 0,283 % u krátce inverzní, -3,609 až 4,785 % u dlouze inverzní, -6,592 až 4,83 % u mírně inverzní, -8,263 až 5,937 % u velmi inverzní, -9,363 až 4,047 % u extrémně inverzní a -8,64 až 4,66 % u jednoznačně inverzní charakteristiky. K velkým odchylkám docházelo u krátce inverzní časově závislé vypínací charakteristice, z důvodu krátkých vypínacích časů. To bylo způsobeno nepřesnou regulací poruchového proudu a odchylka vypínacích časů se nám zvětšovala. Tímto docházelo k chybě měření. Pro každou kontrolu jednotlivých charakteristik jsou uvedeny tabulky naměřených a vypočtených hodnot, příklady výpočtu a grafy vypínacích charakteristik, ve kterých jsou vyneseny průběhy naměřených a vypočtených hodnot vypínacích časů. Proměřování časově nezávislých charakteristik jsem neuváděl do této diplomové práce. Vypínací časy ochrany u nezávislých charakteristik byly naprosto totožné s nastavenými hodnotami.

Po instalaci a zvládnutí ovládání programu DIGSI 4, který je v anglickém jazyce, je ochrana jednoduše ovladatelná a ke všem funkcím jsou přiřazené jednotlivé adresy. K manipulaci s ochranou jsem použil manuál k této ochraně od firmy Siemens, který byl taktéž v anglickém jazyce.

Obecně se dá říci, že naměřené a vypočtené charakteristiky, se navzájem moc neliší a ochrana vypíná relativně přesně, až s ohledem na některé odchylky od naměřených a vypočtených hodnot.

## Použitá literatura

- (1) DOHNÁLEK, P.: *Ochrany pro průmysl a energetiku*. SNTL, Praha 1991
- (2) HALUZÍK E.: *Ochrany a automatiky v elektrických sítích*. Skripta VUT Brno, 1985
- (3) HRADÍLEK Z.: *Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí*. Ostrava 2008
- (4) SANTARIUS P.: *Elektrické stanice vedení*. Skripta VŠB Ostrava, 1993
- (5) ČSN 33 3051 - *Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení*. Listopad 1992
- (6) Firemní literatura a katalogy firmy Siemens